

# **SEGURANÇA HIDRÁULICO- OPERACIONAL DAS BARRAGENS INTEGRADAS NOS GRANDES APROVEITAMENTOS HIDROELÉTRICOS PORTUGUESES**

**JORGE MANUEL DE SOUSA DA MOTA MIRANDA**

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de  
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES**

---

Orientadora: Professora Irene Ramos Chaves Fernandes

JUNHO DE 2014

## **MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2013/2014**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ [miec@fe.up.pt](mailto:miec@fe.up.pt)

*Editado por*

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2013/2014 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2014.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

À minha Família

*Uma pessoa inteligente resolve um problema, um sábio previne-o.*

*Albert Einstein*





## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos os que me ajudaram a concretizar este trabalho.

À minha orientadora, Professora Irene Ramos Chaves Fernandes, pela orientação, esclarecimento de dúvidas e ajuda prestada.

A toda a minha família, pelo apoio e incentivo que sempre me deu, para que conseguisse atingir os meus objetivos.

Aos meus sobrinhos, pelos momentos de brincadeira e descontração que me proporcionam.

À Júlia, por estar sempre presente e disponível para ajudar nos momentos mais difíceis.

Aos meus amigos pelo companheirismo, tanto nos momentos de estudo como de descontração.

Aos meus irmãos, e especialmente aos meus Pais por fazerem de mim o que sou hoje.



## **RESUMO**

A crescente preocupação ambiental, registada nos últimos anos a nível mundial, obrigou a repensar as formas de obtenção de energia elétrica. Com a redução da utilização dos combustíveis fósseis, tendo em vista diminuir as emissões de  $CO_2$ , as fontes de energia renováveis ganharam mais importância. Portugal, devido ao seu clima e morfologia, possui um elevado potencial hídrico. Daí que uma parcela importante da energia elétrica produzida seja proveniente de centrais hidroelétricas.

A uma central hidroelétrica está normalmente associada uma barragem. É comum distinguirem-se as barragens consoante a sua altura e capacidade de armazenamento, designando-se por pequenas ou grandes barragens, sendo as de maior dimensão as que acarretam mais preocupações ao nível da segurança.

O número de grandes barragens em Portugal é significativo (cerca de duas centenas), a maioria das quais foi construída na segunda metade do século passado, antes da publicação de qualquer legislação nacional de segurança que as abrangesse. As consequências associadas à eventual rutura destas estruturas podem ser devastadoras. Daí a necessidade de um exigente controlo da respetiva segurança.

No que respeita à segurança de barragens, os aspetos hidráulico-operacionais constituem uma das principais causas dos acidentes registados a nível mundial. É objetivo desta dissertação a análise da segurança hidráulico-operacional das barragens associadas aos grandes aproveitamentos hidroelétricos existentes em Portugal, incidindo assim o estudo em 33 barragens, todas a cargo da EDP. A referida análise consiste, fundamentalmente, na avaliação do impacto das exigências da legislação portuguesa atualmente em vigor, identificando as necessárias medidas corretivas a implementar nessas barragens.

Neste trabalho são abordadas as causas mais frequentes de acidentes e incidentes em barragens, dando-se especial ênfase aos aspetos relacionados com os órgãos de segurança e exploração. É analisada a legislação portuguesa de segurança de barragens, sendo identificadas as exigências hidráulico-operacionais aplicáveis às barragens integradas nos grandes aproveitamentos hidroelétricos portugueses, bem como as medidas estruturais e não estruturais daí decorrentes. Finalmente, com base na análise de legislação de segurança estrangeira, são apresentadas algumas propostas visando a melhoria da atual legislação portuguesa.

**PALAVRAS-CHAVE:** segurança hidráulico-operacional, barragens, aproveitamentos hidroelétricos, órgãos de segurança, legislação de segurança de barragens.



## **ABSTRACT**

The growing environmental concern that has been registered worldwide led us to rethink the ways to obtain electric energy. As the fossil fuels have been being less used with the aim of decreasing  $CO_2$  emissions, the sources of renewable energy became more important. Portugal, because of its climate and morphology, has a high water potential. In this reason lies the fact that a meaningful portion of the electric energy which is produced arises from hydroelectric power stations. To a hydroelectric power station is a dam likely to be associated. Dams are commonly distinguished from one another according to their height and their storage capacity as well, being called either short or large dams. The latter are the ones that give rise to bigger worries as far as safety is concerned.

The number of large dams in Portugal is significant (about two hundred), most of them were built in the second half of last century, a period of time in which there was no safety national legislation yet that safeguarded them. The consequences that may arise from the possible rupture of these structures are devastating. This is the reason why there must be a demanding safety control. As far as dam safety is concerned, the hydraulic-operational aspects are considered to stand out as one of the main causes of the accidents which have been registered worldwide. This dissertation aims to analyse the hydraulic-operational safety of the dams which are connected with the great hydroelectric developments, thus focusing the study on 33 dams, which are all of them in charge of EDP. This analysis consists mainly in assessing the impact of the requirements of Portuguese law currently in effect, identifying the necessary corrective measures that are to implement in those dams.

In this work we have dealt with the situations that more often give rise to accidents and incidents in dams. Special emphasis is laid on the cases which are narrowly related to safety and exploration devices. The Portuguese legislation that is closely bound up with dam safety is analysed being identified not only the hydraulic-operational that can be applied to the dams which are integrated in the Portuguese hydroelectric developments but also the structural and non-structural resulting measures. At last, bearing in mind the analysis of foreign safety legislation, some proposals that aim to improve the current Portuguese legislation are put forward.

**KEYWORDS:** hydraulic-operational safety, dams, hydroelectric developments, safety devices, dams safety legislation.



## ÍNDICE GERAL

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	i
<b>RESUMO</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	v
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1. ENQUADRAMENTO .....	1
1.2. OBJETIVOS .....	2
1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO .....	2
<b>2. INCIDENTES, ACIDENTES E RUTURAS EM BARRAGENS</b> .....	5
2.1. INTRODUÇÃO .....	5
2.2. ANÁLISE A NÍVEL MUNDIAL .....	6
2.2.1. CAUSAS MAIS FREQUENTES DE RUTURA .....	6
2.2.2. RUTURA E DETERIORAÇÃO DOS DIFERENTES TIPOS DE BARRAGENS .....	8
2.2.3. ENVELHECIMENTO DOS ÓRGÃOS DE SEGURANÇA E EXPLORAÇÃO, DAS ALBUFEIRAS E DOS VALES A JUSANTE DAS BARRAGENS .....	11
2.3. CASO PORTUGUÊS .....	12
2.3.1. INCIDENTES .....	12
2.3.1.1. Incidentes envolvendo os órgãos de segurança e exploração .....	12
2.3.1.2. Incidentes originados por instabilização de encostas .....	13
2.3.2. ACIDENTES .....	13
2.3.3. RUTURAS .....	14
<b>3. APROVEITAMENTOS HIDROELÉTRICOS EM PORTUGAL</b> .....	15
3.1. INTRODUÇÃO .....	15
3.2. TIPOS E CONSTITUIÇÃO GERAL DOS APROVEITAMENTOS .....	15
3.3. GRANDES APROVEITAMENTOS HIDROELÉTRICOS .....	19
3.4. BARRAGEM .....	21
3.4.1. CLASSIFICAÇÃO DE BARRAGENS SEGUNDO A IMPORTÂNCIA .....	21
3.4.2. CLASSIFICAÇÃO DE BARRAGENS SEGUNDO A FINALIDADE PRINCIPAL .....	22

3.4.3. CLASSIFICAÇÃO DE BARRAGENS SEGUNDO OS MATERIAIS E TIPOS DE ESTRUTURA .....	22
3.4.3.1. Barragens de betão do tipo gravidade .....	23
3.4.3.2. Barragens de betão do tipo contrafortes .....	24
3.4.3.3. Barragens de betão do tipo abóbada .....	25
3.4.3.4. Barragens de betão do tipo arco gravidade .....	26
3.4.3.5. Barragens de aterro.....	26
3.4.4. TIPOS DE BARRAGENS PORTUGUESAS .....	27
<b>3.5. CENTRAL E CIRCUITO HIDRÁULICO .....</b>	<b>29</b>
<b>3.6. ÓRGÃOS DE SEGURANÇA E EXPLORAÇÃO .....</b>	<b>30</b>
3.6.1. TIPOS DE DESCARREGADOR DE CHEIAS .....	31
3.6.1.1. Descarregador de cheias sobre a barragem .....	31
3.6.1.2. Descarregador de cheias por orifício.....	32
3.6.1.3. Descarregador de cheias através de canal de encosta .....	32
3.6.1.4. Descarregador de cheias em poço.....	33
3.6.1.5. Descarregador através de diques fusíveis .....	33
3.6.2. TIPOS DE SOLEIRAS DOS DESCARREGADORES .....	33
3.6.2.1. Soleira em labirinto .....	34
3.6.2.2. Soleira tipo WES.....	34
3.6.2.3. Soleira circular .....	35
3.6.2.4. Soleira em bico de pato (leque) e soleira espessa horizontal.....	36
3.6.3. ÓRGÃOS DE DISSIPACÃO DE ENERGIA.....	36
3.6.3.1. Bacias de dissipação de energia por ressalto hidráulico .....	37
3.6.3.2. Bacias de dissipação por conchas de rolo .....	38
3.6.3.3. Bacias de dissipação de energia por jatos .....	38
3.6.4. DESCARGAS DE FUNDO .....	40
3.6.5. TOMADAS DE ÁGUA .....	41
<b>3.7. ÓRGÃOS COMPLEMENTARES .....</b>	<b>41</b>
3.7.1. ECLUSAS DE NAVEGAÇÃO .....	41
3.7.2. DISPOSITIVOS DE TRANSPOSIÇÃO DE PEIXES .....	42
3.7.3. ÓRGÃOS DE CAUDAL ECOLÓGICO .....	43



<b>4. LEGISLAÇÃO PORTUGUESA DE SEGURANÇA DE BARRAGENS</b>	45
<b>4.1. INTRODUÇÃO</b>	45
<b>4.2. DEFINIÇÕES</b>	46
<b>4.3. REGULAMENTO DE PEQUENAS BARRAGENS (RPB)</b>	47
4.3.1. ÂMBITO DE APLICAÇÃO	47
4.3.2. RESPONSABILIDADE TÉCNICA	48
4.3.3. DISPOSIÇÕES RELATIVAS AO PROJETO	48
4.3.4. DISPOSIÇÕES RELATIVAS À CONSTRUÇÃO	49
4.3.5. DISPOSIÇÕES RELATIVAS À EXPLORAÇÃO	49
4.3.6. DISPOSIÇÕES RELATIVAS À OBSERVAÇÃO DAS OBRAS	49
<b>4.4. REGULAMENTO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS (RSB)</b>	50
4.4.1. ENQUADRAMENTO	50
4.4.2. ATUALIZAÇÃO DO REGULAMENTO DE SEGURANÇAS DE BARRAGENS	50
4.4.3. ÂMBITO DE APLICAÇÃO	51
4.4.4. ENTIDADES ENVOLVIDAS NA SEGURANÇA	52
4.4.4.1. Principais competências da Autoridade Nacional de Segurança de Barragens	52
4.4.4.2. Principais competências do Laboratório Nacional Engenharia Civil (LNEC)	52
4.4.4.3. Principais competências da Autoridade Nacional de Proteção Civil (ANPC)	53
4.4.4.4. Principais competências da Comissão de Segurança de Barragens (CSB)	53
4.4.4.5. Principais competências do dono de obra	53
4.4.5. ESTRUTURA DO REGULAMENTO	54
4.4.5.1. Disposições gerais	54
4.4.5.2. Controlo de segurança	55
4.4.5.3. Medidas de proteção civil	57
4.4.5.4. Disposições complementares e transitórias	57
<b>4.5. NORMAS ASSOCIADAS AO REGULAMENTO</b>	58
4.5.1. NORMAS DE CONSTRUÇÃO DE BARRAGENS (NCB)	58
4.5.2. NORMAS DE PROJETO DE BARRAGENS (NPB)	58
4.5.3. NORMAS DE OBSERVAÇÃO E INSPEÇÃO DE BARRAGENS (NOIB)	60

## **5. ANÁLISE DA SEGURANÇA HIDRÁULICO-OPERACIONAL DAS BARRAGENS EM ESTUDO**..... 63

### **5.1. INTRODUÇÃO** ..... 63

### **5.2. AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE SEGURANÇA DE BARRAGENS** ..... 64

#### 5.2.1. ASPETOS A CONSIDERAR NA AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS ..... 64

#### 5.2.2. AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE SEGURANÇA HIDRÁULICO-OPERACIONAL DE BARRAGENS EM EXPLORAÇÃO ..... 65

### **5.3. REVISÃO DOS CRITÉRIOS DE PROJETO DOS ÓRGÃOS DE SEGURANÇA**..... 66

#### 5.3.1. REVISÃO DA CHEIA DE PROJETO ..... 67

#### 5.3.2. ADEQUAÇÃO DOS ÓRGÃOS DE SEGURANÇA ..... 67

##### 5.3.2.1. Descarregadores de cheia ..... 67

##### 5.3.2.2. Descarga de fundo ..... 68

### **5.4. MEDIDAS CORRETIVAS NAS BARRAGENS EM ESTUDO**..... 68

#### 5.4.1. BARRAGENS ABRANGIDAS POR MEDIDAS CORRETIVAS ESTRUTURAIS..... 69

##### 5.4.1.1. Barragem de Paradela ..... 69

##### 5.4.1.2. Barragem de Salamonde..... 70

##### 5.4.1.3. Barragem de Caniçada..... 73

## **6. PROPOSTAS DE MELHORIA DA LEGISLAÇÃO PORTUGUESA DE SEGURANÇA DE BARRAGENS**..... 75

### **6.1. INTRODUÇÃO** ..... 75

### **6.2. LEGISLAÇÃO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS NOS PRINCIPAIS PAÍSES** ..... 75

#### 6.2.1. BARRAGENS A QUE SE APLICA A LEGISLAÇÃO ..... 75

#### 6.2.2. QUANTIFICAÇÃO DO RISCO POTENCIAL TENDO EM CONTA A PERDA DE VIDAS HUMANAS ..... 77

#### 6.2.3. ENTIDADES RESPONSÁVEIS PELA SEGURANÇA ..... 77

#### 6.2.4. COMPARAÇÃO DA LEGISLAÇÃO REFERENTE À SEGURANÇA HIDRÁULICO-OPERACIONAL..... 77

##### 6.2.4.1. Cheias a considerar para o dimensionamento..... 78

##### 6.2.4.2. Descarregadores de cheias, descargas de fundo e tomadas de água..... 79

##### 6.2.4.3. Folga..... 79

##### 6.2.4.4. Riscos a jusante ..... 79

### **6.3. PROPOSTAS DE MELHORIA À LEGISLAÇÃO PORTUGUESA** ..... 81

#### 6.3.1. DESCARREGADORES DE CHEIAS..... 81

#### 6.3.2. DESCARGAS DE FUNDO ..... 82

6.3.3. FOLGA.....	82
-------------------	----

<b>7. Conclusões .....</b>	<b>85</b>
----------------------------	-----------

<b>Bibliografia.....</b>	<b>89</b>
--------------------------	-----------

<b>Anexos.....</b>	<b>93</b>
--------------------	-----------

<b>A1 – RUTURA DE BARRAGENS EM EXPLORAÇÃO (OU FASE DE 1º ENCHIMENTO) QUE CAUSARAM PERDA DE VIDAS HUMANAS NO SÉC. XX .....</b>	<b>95</b>
---	-----------

<b>A2 – CARACTERÍSTICAS DAS BARRAGENS EM ESTUDO .....</b>	<b>101</b>
---	------------

<b>A3 – REVISÃO DAS CHEIAS DE PROJETO E MEDIDAS CORRETIVAS NAS BARRAGENS EM ESTUDO .....</b>	<b>105</b>
--	------------



## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1 – Distribuição de ruturas por alturas da barragem.....	9
Fig. 3.1 – Princípio de funcionamento de um aproveitamento hidroelétrico .....	16
Fig. 3.2 – Barragem de Crestuma-Lever.....	17
Fig. 3.3 – Barragem de Bemposta .....	18
Fig. 3.4 – Perfil transversal de barragens de betão do tipo gravidade .....	23
Fig. 3.5 – Barragem do Torrão .....	23
Fig. 3.6 – Planta e perfil transversal de barragem de betão do tipo contrafortes .....	24
Fig. 3.7 – Barragem de Pracana .....	24
Fig. 3.8 – Planta, alçado e perfil transversal de barragens de betão do tipo abóbada.....	25
Fig. 3.9 – Barragem do Alqueva.....	25
Fig. 3.10 – Barragem de terra homogénea .....	26
Fig. 3.11 – Barragem de terra zonada .....	26
Fig. 3.12 – Barragem em aterro de enrocamento .....	27
Fig. 3.13 – Barragem de Paradela .....	27
Fig. 3.14 – Circuito hidráulico do aproveitamento do Alto Lindoso.....	29
Fig. 3.15 – Circuito hidráulico do aproveitamento hidroelétrico de Pracana .....	30
Fig. 3.16 – Descarregador de cheia da barragem de Paradela.....	32
Fig. 3.17 – Descarregador de cheias em poço vertical da barragem de Paradela.....	33
Fig. 3.18 – Soleira em labirinto.....	34
Fig. 3.19 – Soleira espessa do tipo WES com várias inclinações do paramento de montantes .....	35
Fig. 3.20 – Soleira circular de parede delgada e parede espessa.....	36
Fig. 3.21 – Descarregador com soleira circular da barragem de Paradela .....	36
Fig. 3.22 – Bacias de dissipação de energia por ressalto proposto por BUREC .....	37
Fig. 3.23 – Conchas de rolo: (a) sem blocos; (b) com blocos.....	38
Fig. 3.24 – Descarregador de cheias da barragem de Bouçã .....	39
Fig. 3.25 – Barragem de Picote, descarregador de cheias com trampolim de saídas .....	39
Fig. 3.26 – Descarga de fundo da barragem do Alto Lindoso .....	40
Fig. 3.27 – Eclusa de navegação da barragem de Carrapatelo .....	42
Fig. 3.28 – Elevador de peixes da barragem de Touvedo .....	43

Fig. 5.1 – Sistema hidroelétrico Cávado- Rabagão- Homem.....	69
Fig. 5.2 – Novo descarregador de cheias da barragem de Paradela .....	70
Fig. 5.3 – Barragem de Salamonde. Situação anterior à recente intervenção .....	71
Fig. 5.4 – Novo descarregador de cheias da barragem de Salamonde.....	72
Fig. 5.5 – Barragem de Caniçada.....	73
Fig. 5.6 – Novo descarregador de cheias da barragem de Caniçada.....	74

## **ÍNDICE DE QUADROS**

Quadro 2.1 – Número de casos de rutura devido a problemas nos órgãos anexos .....	7
Quadro 2.2 – Distribuição, em percentagem, das ruturas por fases de vida e tipo de barragem .....	8
Quadro 2.3 – Frequência de ocorrência dos principais cenários de envelhecimento dos órgãos de segurança e exploração .....	11
Quadro 3.1 – Classificação de aproveitamento consoante a potência .....	16
Quadro 3.2 – Classificação de aproveitamento consoante a queda útil .....	16
Quadro 3.3 – Classificação de aproveitamento consoante o caudal .....	17
Quadro 3.4 – Grandes barragens construídas em Portugal .....	19
Quadro 3.5 – Barragens associadas aos grandes aproveitamentos hidroelétricos portugueses .....	20
Quadro 3.6 – Novos aproveitamentos hidroelétricos .....	21
Quadro 3.7 – Classificação das principais barragens portuguesas .....	28
Quadro 3.8 – Classificação das principais barragens que integram aproveitamentos hidroelétricos ...	28
Quadro 4.1 – Legislação portuguesa em vigor .....	46
Quadro 4.2 – Classificação das barragens em função dos danos potenciais .....	51
Quadro 4.3 – Período de retorno da cheia de projeto, em anos .....	60
Quadro 6.1 – Critérios de aplicação da legislação em função das características das barragens .....	76
Quadro 6.2 – Classificação das barragens consoante a altura e o volume da albufeira .....	78
Quadro 6.3 – Classificação em relação aos riscos potenciais .....	78
Quadro 6.4 – Matriz de determinação do período de retorno .....	79
Quadro 6.5 – Determinação da altura mínima de ondulação - Folga .....	83





## **SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS**

$hm^3$  – Hectómetro cúbico

ha – hectare

Km – Quilómetro

MW – Megawatt

ANPC – Autoridade Nacional de Proteção Cível

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

BUREC – United States Bureau of Reclamation

CNPC – Comissão Nacional de Proteção Cível

CSB – Comissão de Segurança de Barragens

DEC – Departamento de Engenharia Civil

EDP – Energias de Portugal

FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

ICOLD – International Commission of Large Dams

INAG – Instituto Nacional da Água

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Cível

NCB – Normas de Construção de Barragens

NMC – Nível de Máxima Cheia

NOIB – Normas de Observação e Inspeção de Barragens

NPA – Nível de Pleno Armazenamento

NPB – Normas de Projeto de Barragens

PMF – Probable Maximum Flood

RPB – Regulamento de Pequenas Barragens

RSB – Regulamento de Segurança de Barragens

RTS – Reglamento Técnico Sobre Seguridad De Presas y Embalses

WES – Waterways Experiment Station

Fig. – Figura

Séc. - Século



# 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1. ENQUADRAMENTO

Em Portugal, a utilização de energia hídrica, como forma de produção de energia elétrica, teve início nas primeiras décadas do século passado, tendo a maioria dos aproveitamentos sido construídos na segunda metade desse mesmo século. Face à grande capacidade hídrica portuguesa e às crescentes exigências europeias relativas às questões ambientais, o número de barragens associadas a aproveitamentos hidroelétricos sofreu, nos últimos anos, um novo incremento. Em 2010, existiam em Portugal 204 grandes barragens, das quais 62 estavam associadas a aproveitamentos hidroelétricos (Vale 2010). O número exato de barragens existentes em Portugal não é conhecido, pois muitas delas, principalmente as de menor dimensão cuja função não merece muita atenção, não estão inventariadas. Sabe-se, contudo, que existem mais de 600 barragens ([www.proteccaocivil.pt](http://www.proteccaocivil.pt)).

Este número elevado de barragens exige especial atenção por parte das entidades governamentais e dos responsáveis pela segurança. Em Portugal, data de 1968 o primeiro regulamento de segurança de barragens (Regulamento de Pequenas Barragens de Terra), posteriormente substituído, em 1993, pelo Regulamento de Pequenas Barragens (RPB). Em 1990, foi publicado o Regulamento de Segurança de Barragens (RSB), aplicável às barragens de grande dimensão, as quais não eram abrangidas pelo RPB. Para garantir a boa execução do RSB foi também publicado um conjunto de Normas aplicáveis ao projeto, construção e inspeção de barragens. Em 2008, entrou em vigor o mais recente documento legislativo relativo à segurança de barragens em Portugal. Trata-se da atualização do RSB, decorrente da introdução de várias medidas de melhoria.

Com a publicação da legislação referida, principalmente com a entrada em vigor do RSB, tornou-se necessária a avaliação da segurança das barragens já existentes, face às exigências regulamentares. Esta avaliação deve contemplar a análise da capacidade das barragens para satisfazerem as exigências de comportamento relativas a aspetos estruturais, hidráulico-operacionais e ambientais, de modo a evitar a ocorrência de acidentes e incidentes ou minimizar as suas consequências durante a vida da obra.

O acidente mais grave que pode ocorrer numa barragem é a respetiva rutura com libertação não controlada de um grande volume de água para jusante, pois pode originar perda de vidas humanas e avultados prejuízos de bens e ambiente.

Atendendo a que uma das principais causas de rutura de barragens está ligada ao inadequado comportamento hidráulico-operacional dos seus órgãos de segurança e exploração (nomeadamente dos descarregadores de cheias), considera-se pertinente averiguar quais as condições atuais dessa componente da segurança.

## 1.2. OBJETIVOS

Os objetivos principais desta dissertação são:

- Análise da segurança hidráulico-operacional das barragens associadas aos grandes aproveitamentos hidroelétricos existentes em Portugal, face às exigências da legislação atualmente em vigor;
- Realização de propostas de melhoria da legislação portuguesa de segurança de barragens.

Face à importância da hidroeletricidade, a análise da segurança hidráulico-operacional efetuada abrange as 33 grandes barragens que se encontram integradas nos grandes aproveitamentos hidroelétricos. Deste conjunto de barragens, apenas uma (Alqueva) foi projetada e construída após a publicação do RSB.

Convém precisar que se consideram grandes aproveitamentos os que têm potência instalada superior a 10 MW e grandes barragens (segundo o RSB) as de altura igual ou superior a 15 metros, ou de altura igual ou superior a 10 metros cuja albufeira tenha uma capacidade superior a 1 milhão de metros cúbicos.

Como objetivos parciais, que serviram de base para a concretização dos objetivos principais, definiram-se os seguintes:

- Pesquisa das principais causas da ocorrência de acidentes em barragens;
- Compreensão da constituição de um aproveitamento hidroelétrico, em especial da barragem e dos órgãos de segurança e exploração;
- Análise da legislação portuguesa relativa à segurança de barragens e identificação das exigências hidráulico-operacionais;
- Análise de legislação estrangeira de segurança de barragens e comparação com a portuguesa.

## 1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação está organizada em sete capítulos, sendo este o primeiro, que corresponde à introdução, cujo objetivo é fazer o enquadramento do tema desenvolvido e apresentar os objetivos e a estrutura do trabalho.

No capítulo 2, *Incidentes, Acidentes e Ruturas em Barragens*, apresentam-se as principais causas da ocorrência de situações anómalas que põem em risco a segurança da barragem. São apresentados dados estatísticos a nível mundial, dando-se especial relevância aos casos envolvendo os órgãos de segurança e exploração. No final do capítulo, abordam-se os casos de incidentes, acidentes e ruturas ocorridos em Portugal.

No capítulo 3, *Aproveitamentos Hidroelétricos em Portugal*, é descrita a sua constituição geral, bem como os vários tipos de barragens e de órgãos de segurança e exploração. Apresentam-se as principais características dos grandes aproveitamentos hidroelétricos e das barragens neles integradas.

No capítulo 4, *Legislação Portuguesa de Segurança de Barragens*, é feita uma retrospectiva histórica nacional, desde o primeiro diploma legislativo até aos que atualmente se encontram em vigor. São apresentados os aspetos gerais mais relevantes e identificadas as exigências de segurança hidráulico-operacional aplicáveis aos órgãos de segurança e exploração.

No capítulo 5, *Análise da Segurança Hidráulico-Operacional das Barragens em Estudo*, apresenta-se a análise do impacto das exigências de segurança hidráulico-operacional da legislação em vigor,

identificando as medidas corretivas (estruturais e não estruturais) daí decorrentes que devem ser implementadas nos órgãos de segurança e exploração das barragens que integram os grandes aproveitamentos hidroelétricos existentes em Portugal.

No capítulo 6, *Propostas de Melhoria da Legislação Portuguesa de Segurança de Barragens*, são apresentadas propostas de melhoria da legislação portuguesa relativa à segurança hidráulico-operacional, com base na comparação com a legislação de alguns países estrangeiros.

No capítulo 7, *Conclusões*, resumem-se as principais conclusões da dissertação.



## 2

## INCIDENTES, ACIDENTES E RUTURAS EM BARRAGENS

### 2.1. INTRODUÇÃO

Os acidentes em barragens, comparativamente com os ocorridos em outros tipos de estruturas de engenharia, são bastante reduzidos. A ocorrência de rutura, total ou parcial, é o caso mais gravoso e o que pode levar a um maior número de perda de vidas humanas, dentro dos vários tipos de acidentes e incidentes suscetíveis de acontecer numa obra deste tipo. A rutura de uma barragem pode ser considerada uma catástrofe, se as suas consequências forem devastadoras. Para além da perda de vidas humanas, a onda de inundação causada pela súbita libertação de grandes quantidades de água armazenada na albufeira, pode causar danos, num raio de vários quilómetros, dependendo da capacidade da albufeira, habitações, terras de cultivo, fábricas, serviços de telecomunicações, etc. Para além das consequências mencionadas são de salientar também os prejuízos causados ao meio ambiente e a suspensão dos benefícios associados à exploração da barragem, quer seja para produção de energia, abastecimento de água à população ou outros fins.

A ocorrência de acidentes ou incidentes é, muitas vezes, causada por erros que poderiam ter sido evitados tanto na fase de projeto, como na construção ou durante a exploração.

A análise dos dados estatísticos dos acidentes é de grande utilidade, quer para os projetistas, quer para os responsáveis pelo controlo de segurança, pois permite verificar quais os problemas mais comuns e tomar medidas que evitem a sua ocorrência. Em termos de observação e inspeção, os dados estatísticos sensibilizam os responsáveis para esses problemas, permitindo detetá-los atempadamente.

Para evitar a ocorrência de acidentes, as condições de segurança devem ser asseguradas ao longo de toda a vida da obra. Assim, devem ser realizadas inspeções periódicas e tomadas as medidas necessárias de manutenção e conservação.

Atendendo ao âmbito deste trabalho, no presente capítulo dá-se ênfase aos aspetos hidráulico-operacionais dos órgãos de segurança da barragem, não sendo aprofundados os aspetos relativos ao comportamento estrutural.

É importante esclarecer algumas definições, mencionadas ao longo do capítulo, por serem conceitos por vezes confundíveis:

- Deterioração – Qualquer situação que possa vir a afetar a funcionalidade ou a segurança (Pinto e Faria 2001);
- Incidente – anomalia suscetível de afetar, a curto ou a longo prazo, a funcionalidade da obra e que implica a tomada de medidas corretivas (RSB 2007);
- Acidente – ocorrência excecional cuja evolução não controlada é suscetível de originar uma onda de inundação (RSB 2007);
- Rutura – Qualquer ocorrência no corpo da barragem, suas fundações, órgãos de segurança e zona da albufeira que tenha provocado a libertação não controlada de um grande volume de água para jusante (Pinto 2001);
- Catástrofe – Ocorrência excecional que provoca vítimas e danos sociais, materiais e ambientais, ultrapassando a capacidade da comunidade atingida para lhe fazer face (RSB 2007);
- Risco de acidente ou de incidente – O produto dos danos potenciais pela probabilidade de ocorrência do acidente ou incidente com eles relacionado (RSB 2007);
- Cenário de acidente ou incidente – Situação hipotética plausível que pode originar um acidente ou um incidente (RSB 2007);
- Plano de Emergência – Conjunto de medidas integrando a avaliação dos danos potenciais e os procedimentos a adotar pelos diferentes intervenientes com vista a fazer face a situações de emergência associadas a ondas de inundação (RSB 2007).

## **2.2. ANÁLISE A NÍVEL MUNDIAL**

### **2.2.1. CAUSAS MAIS FREQUENTES DE RUTURA**

A rutura de uma barragem é, em geral, um processo que se inicia com um comportamento anómalo, ou seja, com uma primeira evidência, como se de um aviso se tratasse. Os sintomas nem sempre são detetados atempadamente, conduzindo a uma evolução progressiva da anomalia até se verificar um acidente grave ou mesmo a rutura. Daí a importância da inspeção e observação, com uma análise dos resultados e tomadas de decisões realizadas com a maior celeridade possível.

A rutura de barragens pode ter diversas causas, podendo ser classificadas em dois grupos (Ramos 2000):

- Causas devidas à ação humana;
- Causas naturais.

Nas causas devidas à ação humana estão incluídas as ações decorrentes de atos de guerra ou sabotagem, de erros de projeto ou de construção e ainda inerentes à incorreta exploração da albufeira. Entre estas, há aquelas em que temos controlo, nomeadamente os erros de projeto e construção e negligência na forma de exploração da albufeira. Os atos de guerra ou sabotagem não se conseguem controlar diretamente, devendo-se contar com a possibilidade de tal acontecer.



Entre as causas naturais destacam-se as seguintes:

- Ocorrência de afluências excepcionais;
- Alteração desfavorável da estabilidade da fundação ou da resistência do corpo da barragem, das fundações e encontros, deslizamentos de zonas de encostas nas margens das albufeiras;
- Atuação de um sismo intenso que possa induzir ações dinâmicas ou hidrodinâmicas excessivas.

Contudo, as causas que motivam a rutura da barragem são, na sua maioria, múltiplas, originadas por vários fatores.

A ocorrência de uma deterioração pode originar ou não a rutura, dependendo do tipo, local e gravidade.

Um inquérito, envolvendo 1105 casos de deterioração, respeitantes a barragens pertencentes a 33 países, realizado pela ICOLD (International Commission on Large Dams) no ano de 1983, permitiu verificar que, de uma forma geral, de entre as múltiplas causas possíveis de rutura, as predominantes são (Ramos 2000):

- Insuficiente capacidade de vazão ou a deterioração dos órgãos de descarga de cheias, incluindo subestimação da cheia de projeto e deficiente funcionamento das comportas;
- Relacionadas com as fundações, nomeadamente erosões internas, subpressões, deslizamentos nas interfaces das fundações e assentamentos.

Outra conclusão relevante apresentada pelo ICOLD e que evidencia a importância da segurança hidráulico-operacional, é que, dos 107 casos de rutura registados até 1975, 55 envolveram órgãos de segurança e exploração, o que representa 51 % de todos os casos analisados.

O quadro 2.1 mostra o resultado de um estudo referente ao número de casos de rutura de barragens devidos a problemas nos órgãos anexos (Gomes et al. 2001).

Grande parte do número de ruturas (40) ocorreram por ter sido excedida a capacidade dos órgãos de descarga. As ruturas devido a materiais sólidos arrastados pelo escoamento, erosões localizadas e funcionamento deficiente dos órgãos de descarga, também atingem um número significativo (14). Assim, é admissível concluir que a maioria das ruturas estão diretamente relacionadas com questões hidráulico-operacionais.

Quadro 2.1 – Número de casos de rutura devido a problemas nos órgãos anexos (Gomes et al. 2001)

Causa de rutura	Número de ruturas
Percolação	7
Erosão interna	6
Arrastamento de blocos	2
Agentes químicos e biológicos	2
Comportamento estrutural	4
Caudal excessivo	40
Materiais sólidos arrastados pelo escoamento	3
Erosões localizadas	6
Funcionamento deficiente dos órgãos de descarga	5

As causas de deficiência na segurança de barragens incluem, nomeadamente (Ramos 2000):

- Critérios de projeto inadequados ou obsoletos;
- Subestimação da informação necessária para a elaboração do projeto;
- Envelhecimento dos materiais;
- Deficiências de operação;
- Má manutenção.

Os aspetos relativos ao projeto e exploração assumem portanto (para além da construção) uma grande importância na segurança das barragens, o que obriga a uma definição e manutenção cuidadosa dos órgãos de segurança e exploração.

#### 2.2.2. RUTURA E DETERIORAÇÕES DOS DIFERENTES TIPOS DE BARRAGENS

Os acidentes e mesmo as ruturas das barragens estão diretamente relacionados com as suas características, nomeadamente o tipo de material que as constitui e as suas dimensões.

A partir da experiência adquirida nas ruturas ocorridas, sabe-se que a rutura de barragens de aterro se processa de uma forma lenta e que a rutura das barragens de betão é muito rápida. Pode-se mesmo dizer que a rutura de uma barragem de betão é praticamente instantânea, sendo os sinais de aviso que evidenciam que irá entrar em colapso, menos perceptíveis que no caso da barragem de aterro (Martins 2001).

Note-se que, em qualquer dos casos, poderá haver sintomas de alerta de colapso da barragem, o que permite ativar os meios competentes para desencadear uma operação de evacuação da população, várias horas antes do início da rutura.

De acordo com o estudo realizado pela ICOLD (1983), já referido anteriormente, as barragens de betão, em termos relativos (atendendo ao número de barragens construídas), apresentam um maior número de deteriorações do que as barragens de aterro. As barragens de abóbadas múltiplas e de contrafortes têm sido as mais vulneráveis, seguindo-se-lhes as de abóbada simples e de enrocamento.

Quadro 2.2 – Distribuição, em percentagem, das ruturas por fase de vida e tipo de barragem. Adaptado de (Pinto e Faria 2001)

Fases da vida	Tipo de barragem	
	Betão	Aterro
Construção	14	18
Primeiro enchimento	50	20
Primeiros cinco anos	14	17
Após cinco primeiros anos	18	39
Indeterminado	4	6

Quanto às ruturas, o mesmo estudo realizado pela ICOLD (1983) concluiu que terão sofrido rutura cerca de 0,7% das barragens existentes. O quadro 2.2 mostra a distribuição das percentagens de rutura por fase da vida da obra e por tipo de barragem. Para as barragens de betão, a maior percentagem de

rutura (50%) ocorre durante a fase de primeiro enchimento, enquanto no caso das barragens de aterro, a maior percentagem (39%) ocorre após 5 anos do início da construção.

A figura 2.1 apresenta a distribuição de ruturas por alturas da barragem, considerando um universo de barragens de todo o mundo em que ocorreu rutura com perda de vidas humanas. Nesse estudo consideraram-se ruturas datadas posteriormente a 1900, não resultantes de atos de guerra e excluindo as ruturas de barragens em construção (Martins 2001).

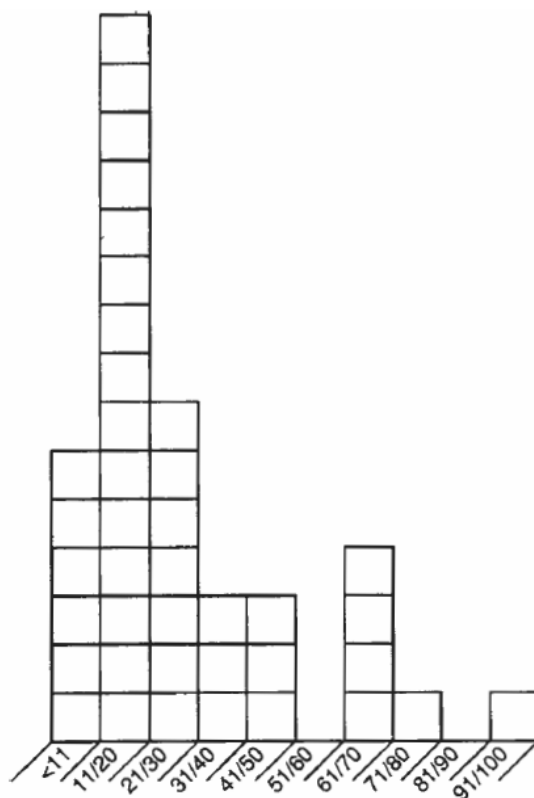


Fig.2.1 – Distribuição de ruturas por alturas da barragem (m) (Martins 2001)

A salvaguarda de vidas humanas é o propósito principal do controlo da segurança das barragens.

O número de barragens que envolve perigo para as populações a jusante é muito grande. Devem-se portanto selecionar as barragens que causam maior preocupação e adotar medidas mais eficazes.

Conforme referido anteriormente, existem sinais de alerta antes da ocorrência de rutura da barragem. Esses sinais devem ser detetados atempadamente, para que se consiga evacuar o maior número possível de pessoas.

Por norma, a rutura de barragens de aterro é sempre lenta, sempre superior a meia hora. A onda de inundação não excede em geral 1 Km de extensão (Martins 2001). Desde que os sistemas de aviso e alerta funcionem, é possível salvar todas as vidas humanas em risco, sendo só inevitável os danos materiais e ambientais.

O caso das barragens de betão é mais complexo, ocorrendo a rutura quase instantaneamente e com poucos sinais de aviso. Se não houver uma antecipada perceção de que vai haver rutura e se não se conseguir realizar uma evacuação atempada da população, as probabilidades de sobrevivência são

reduzidas. A onda de inundação atinge grandezas na ordem dos 10 Km a jusante da barragem, abrangendo uma área muito maior que no caso das barragens de aterro (Martins 2001).

Apresenta-se no anexo A1 um quadro com a listagem das barragens em todo o mundo (sobre as quais existe informação) em que houve rutura e que causaram perda de vidas humanas, contendo o tipo de barragem em causa, as características e causas de rutura. Consta ainda a informação do envolvimento dos fatores hidráulico-operacionais nas causas de rutura, o que se verifica ter ocorrido na sua maioria.

São vários os fatores que determinam o grau de perigosidade, para as vidas humanas, dos acidentes que podem ocorrer em barragens. Esses fatores podem dividir-se em três grupos (Martins 2001): Características do escoamento pós-ruptura, tempo de que a população dispõe para evacuação e eficiência da operação de evacuação.

- Características do escoamento pós-ruptura:
  - Altura do escoamento;
  - Velocidade do escoamento;
  - Materiais arrastados pelo escoamento;
  - Erosões e deslizamentos;
  - Temperatura da água

Os parâmetros que mais influenciam são a altura e a velocidade do escoamento, que estão diretamente ligados com o tipo de rutura (rápida ou lenta), altura da barragem, extensão da rutura, inclinação e características morfológicas do vale. O volume de água armazenada condiciona também os parâmetros anteriores e influencia a duração das condições desfavoráveis.

- Tempo de que a população dispõe para evacuação:
  - Decisão de evacuação tomada antes ou depois da rutura;
  - Velocidade da onda de inundação;
  - Distância à barragem;
  - Fiabilidade dos sistemas de aviso e alerta;
  - Caráter automático ou não desses sistemas;
  - Sistemas de aviso e alerta.

Os parâmetros mais importantes que determinam o tempo disponível para evacuação são: o momento em que se dá a instrução de evacuação, decisão que tem de ser tomada atempadamente; e, logicamente, a velocidade da onda de inundação e a distância que esta percorre até chegar à população.

- Eficiência da operação de evacuação:
  - Grau de conhecimento da população de como agir em caso de acidente;
  - Eficiência das equipas de proteção civil;
  - Disponibilidade de locais de refúgio;
  - Percentagem de crianças, de pessoas idosas e de pessoas com dificuldade de mobilidade;
  - Condições meteorológicas e indicação se a rutura ocorre de dia ou de noite.

O fator crucial na eficiência da operação de evacuação é o modo como a população deve agir. Deve existir um plano de emergência pré concebido e dado a conhecer à população em risco, devendo ser realizados simulacros de forma a sensibilizar a população para os riscos que correm.

### 2.2.3. ENVELHECIMENTO DOS ÓRGÃOS DE SEGURANÇA E EXPLORAÇÃO, DAS ALBUFEIRAS E DOS VALES A JUSANTE DAS BARRAGENS

Devido aos órgãos de segurança e exploração de barragens serem, por norma, estruturas de betão de grande porte, há que ter em conta o envelhecimento da estrutura, tal como no corpo da barragem.

Para além de um adequado comportamento estrutural, os órgãos de segurança e exploração das barragens devem assegurar também um adequado funcionamento hidráulico-operacional. Podem desenvolver-se nos órgãos de segurança e exploração das barragens cenários de envelhecimento que ponham em causa a segurança, podendo originar um acidente grave, ou mesmo rutura, pois, tal como foi mencionado anteriormente, o funcionamento deficiente dos órgãos de segurança e exploração representam uma das maiores causas de rutura de barragens.

Indicam-se seguidamente cenários de envelhecimento que podem desenvolver-se nos órgãos de segurança e exploração (Oliveira Pedro 2001):

- Problemas com o funcionamento de comportas e outros equipamentos, originados por deficiências de projeto, tais como falta de arejamento e vibrações, ou devido a problemas de conservação e manutenção;
- Erosão por abrasão devida a materiais transportados pela água, em regra em bacias de dissipação de energia, nas soleiras dos descarregadores ou a jusante das comportas em descarregadores de cheias ou descargas de fundo;
- Erosão devida à ação direta dos jatos da água normalmente no maciço rochoso a jusante dos descarregadores de cheia;
- Erosão associada a fenómenos de cavitação em bacias de dissipação de energia, descarregadores de cheias e pilares devido a falta de arejamento e por deficiências de projeto ao nível do traçado;
- Obstrução ao escoamento devido aos materiais transportados pela água, em grelhas, canais e tomadas de água.

No quadro 2.3 são apresentados os principais cenários de envelhecimento, associados ao comportamento hidráulico-operacional dos órgãos de segurança e exploração, identificados pela análise de 181 casos de obra.

Quadro 2.3 – Frequência de ocorrência dos principais cenários de envelhecimento dos órgãos de segurança e exploração. Adaptado de (Oliveira Pedro 2001)

Cenários de envelhecimento dos órgãos de segurança e exploração de barragens	Frequência de ocorrência (%)
Falta de capacidade de vazão dos órgãos de descarga	24
Problemas com comportas e outros equipamentos	21
Erosão por abrasão	19
Erosão devido à ação mecânica da água	17
Erosão por cavitação e dissipação de energia	16
Obstrução por sólidos transportados pela água	3

Relativamente à albufeira e ao vale a jusante da barragem, os cenários de deterioração estão diretamente relacionados com problemas geológicos/geotécnicos e problemas hidráulicos (Oliveira Pedro 2001).

Os principais cenários de deterioração da albufeira são: a estabilidade dos taludes; queda de grandes massas de rocha; sismicidade induzida pela instabilidade dos taludes. Podem ser devidos ainda a casos mais particulares como a permeabilidade ou o assoreamento e qualidade da água, designadamente relacionada com problemas de eutrofização e de salinização.

## **2.3. CASO PORTUGUÊS**

O caso português é um caso de sucesso no que respeita à segurança de barragens. Existem hoje em Portugal mais de duas centenas de grandes barragens (Vale 2010) e muitas centenas de pequenas barragens.

Nunca houve em Portugal uma rutura de barragem que implicasse perda de vidas humanas (Martins 2001). Este caso de sucesso tem sido, em larga medida, determinado pelo elevado nível científico e técnico da Engenharia em Portugal.

Até ao momento não foi registado em Portugal qualquer acidente grave com barragens, tendo sido identificadas diversas situações que levaram a cabo trabalhos de reabilitações em muitos casos bastantes dispendiosos. Contudo, verificaram-se alguns incidentes, acidentes, aparecimento de cenários de deteriorações e apenas uma rutura, a da barragem de Venda Velha em 1959.

Tem-se verificado uma menor fiabilidade das barragens de menor dimensão, na sua maioria com o propósito de abastecimento de populações e rega. As causas são diversas, destacando-se as que se relacionam com a entidade promotora, financiamento e projeto de construção e medidas de conservação. Por serem obras de menor importância, é, muitas vezes, negligenciado o controlo de segurança, e raramente disponibilizados fundos para a sua conservação.

Apresentam-se, então, as mais importantes ocorrências ao nível da segurança registadas em Portugal, com maior incidência para os aspetos hidráulico-operacionais.

### **2.3.1. INCIDENTES**

#### **2.3.1.1. Incidentes envolvendo os órgãos de segurança e exploração**

Grande número dos incidentes ocorridos nas barragens Portuguesas envolveram os órgãos de descarga de fundo (Pinto e Faria 2001). Avarias por deficiente funcionamento de válvulas, comportas ou ensecadeiras, ruturas ao longo das condutas são exemplos de incidentes que afetam estes órgãos.

Os descarregadores de cheias são outro órgão suscetível de ocorrência de incidentes. O mau funcionamento das comportas, ocorrendo em períodos de caudais elevados já motivaram a reparações de emergência, pondo em risco o galgamento das barragens.

A título de exemplo de casos de anomalias dos descarregadores de cheias, refere-se o caso da barragem de Corgas.

A barragem de Corgas é do tipo gravidade, com 25 metros de altura, sendo o descarregador de cheias situado à superfície, sobre a barragem, provido de duas comportas. A barragem tem como utilização, o abastecimento de água à população. Na realização de uma inspeção de rotina foi constatado que o funcionamento das comportas dos descarregadores de cheias era inadequado. As comportas

encontravam-se de maneira a que parte do escoamento se realizava pela soleira e parte sobre a própria comporta, obrigando a comporta a suportar uma carga para a qual não foi dimensionada. Este é apenas um exemplo de um incidente ocorrido devido à adoção de más práticas de exploração.

#### 2.3.1.2. Incidentes originados por instabilização de encostas

A instabilização de encostas pode provocar acidentes graves. Embora em Portugal não haja registo de nenhum problema deste género, há a registar problemas de instabilização de encostas a jusante de descarregadores de cheia, como é o caso da barragem de Paradela.

A barragem de Paradela, inicialmente, era constituída por dois descarregadores, um em poço sem comportas e um descarregador auxiliar com saída para a ribeira a jusante, munido de duas comportas. Logo no início da exploração, ainda durante os testes de funcionamento do descarregador, verificou-se elevada erosão nas margens e no fundo da linha de água, provocada pela saída de água do segundo descarregador, facto que levou os responsáveis pela exploração a desativarem esse descarregador.

#### 2.3.2. ACIDENTES

O acidente mais gravoso, e aquele que pode mais rapidamente provocar rutura da barragem, é o galgamento, sobretudo nas barragens de aterro. Ocorreram bastantes casos de galgamento em barragens de aterro em Portugal, na maioria dos casos, associado a ocorrência de elevada precipitação e insuficiente capacidade dos órgãos de descarga. São exemplos: barragem da Amieira, barragem da Gata, barragem da Água do Sobreiro, barragem de Marzelonas, barragem do Monte da Ribeira, entre outras.

Também houve em Portugal um caso de galgamento de uma barragem de betão, a de Fagilde.

A barragem de Fagilde data do ano de 1984, situa-se no concelho de Viseu e foi concebida com o objetivo de regularização de caudais e abastecimento de água ao concelho. É em betão formada por duas abóbadas apoiadas numa estrutura central, onde se situam os dois descarregadores. Possui uma albufeira com  $2,8 \text{ hm}^3$  de capacidade, tem altura máxima de 27 metros e um desenvolvimento do coroamento de 63 metros, funcionando a fio de água.

A barragem possui um descarregador principal constituído por dois orifícios de 6 metros de largura e 3,4 metros de altura equipados com comportas de acionamento elétrico de comando manual ou automático. Para além deste, ainda possui um descarregador livre na parte superior da estrutura central, com dois vãos de 6 metros.

Durante uma cheia, ocorrida entre os dias 24 e 25 de Dezembro de 1995, verificou-se o galgamento da barragem devido a incumprimento das normas de exploração, mantendo as comportas dos descarregadores principais abertas apenas 0,3 metros. O galgamento atingiu uma altura na ordem dos 2 metros. Como os comandos de acionamento das comportas se situavam no corpo da barragem, foi impossível acionar as comportas e o galgamento perdurou durante 17 horas.

A estrutura de betão da barragem não sofreu quaisquer danos ou deslocamentos irreversíveis, apenas erosões nas encostas junto aos encontros.

### 2.3.3. RUTURAS

O caso mais gravoso de rutura de barragem em Portugal foi o da barragem da Venda Velha.

A barragem era constituída por um núcleo de betão armado e envolvente de aterro e localizava-se na herdade do Rio Frio. A 9 de Março de 1959, verificou-se o galgamento da barragem, devido a insuficiente capacidade de vazão dos órgãos de descarga, originando a rutura da estrutura com uma abertura de 110 metros. Cerca de 350 ha de culturas ficaram submersos e perdidos e o curso de água ficou grandemente assoreado.

Outro caso de rutura é o da barragem dos Hospitais, localizada no concelho de Portel, distrito de Évora. A barragem de aterro, de perfil homogéneo, com 12 metros de altura, rompeu em cerca de 3 horas. Foi aberta uma brecha de 15 metros no corpo da barragem e as causas apontam para a inadequada espessura e forma do enrocamento de proteção. A descarga de fundo tinha também um diâmetro insuficiente.



# 3

## APROVEITAMENTOS HIDROELÉTRICOS EM PORTUGAL

### 3.1. INTRODUÇÃO

Os aproveitamentos hidroelétricos assumem especial importância no nosso país pois para além da produção de energia limpa e de um papel fundamental na gestão das redes elétricas, têm associados outros benefícios, nomeadamente, reserva de água para abastecimento humano, rega, navegabilidade, atividades de turismo e lazer.

No ano de 2013, em Portugal, 13,9 % da energia elétrica comercializada pela EDP foi proveniente de aproveitamentos hidroelétricos ([www.edpsu.pt](http://www.edpsu.pt)). O crescimento da utilização de energias renováveis nos últimos anos deve-se, em grande parte, ao facto de Portugal ter assinado o protocolo de Quioto. Este Protocolo estipulou prazos para a redução das emissões de gases causadores do efeito de estufa. De entre as várias medidas adotadas em Portugal, foi reformulado o setor da energia, promovendo o uso de fontes de energia renováveis.

Há vários tipos de barragens, diferenciadas pela forma e material constituinte. São consideradas das maiores obras de engenharia, nas quais se utiliza, hoje em dia, tecnologia de ponta. São obras que exigem elevado controlo de segurança, devido à possibilidade de rutura e consequente risco de perda de elevado número de vidas humanas.

Neste capítulo, são abordados os vários elementos constituintes dum aproveitamento hidroelétrico, com maior ênfase na barragem e nos órgãos de segurança e exploração.

### 3.2. TIPOS E CONSTITUIÇÃO GERAL DOS APROVEITAMENTOS

A energia hidroelétrica corresponde, essencialmente, à conversão da energia potencial da água em energia elétrica. A água do rio é retida através da construção de uma barragem, formando assim uma albufeira. A jusante encontra-se a central hidroelétrica, que aproveitando o desnível natural do terreno entre a albufeira e a central, é capaz de fazer girar as turbinas dos geradores e produzir energia elétrica (figura 3.1).

Todo este processo se denomina de produção hidroelétrica. O conjunto constituído pela albufeira, pela barragem e pela central elétrica denomina-se aproveitamento hidroelétrico.

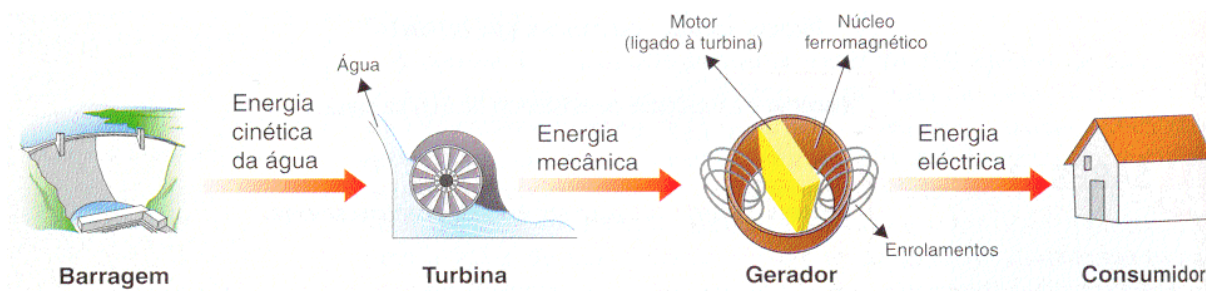


Fig.3.1 – Princípio de funcionamento de um aproveitamento hidroelétrico (www.prof2000.pt)

Os aproveitamentos hidroelétricos diferem entre si, devido a um conjunto de diversos fatores que têm implicação na potência produzida, no serviço desempenhado e na continuidade de energia fornecida. Assim, os aproveitamentos hidroelétricos são classificados de acordo com:

- Potência instalada;
- Queda útil;
- Caudal;
- Tipo de aproveitamento;
- Serviço desempenhado.

No que diz respeito à potência instalada, os aproveitamentos são diferenciados de acordo com os valores presentes no quadro seguinte:

Quadro 3.1 – Classificação dos aproveitamentos consoante a potência (David e Oliveira)

Designação do aproveitamento	Potência instalada
Grande Aproveitamento Hidroelétrico	>10MW
Pequeno Aproveitamento Hidroelétrico	<10MW
Mini Aproveitamento Hidroelétrico	<2MW
Micro Aproveitamento Hidroelétrico	<0,5MW

Também se pode classificar um aproveitamento tomando como característica a queda útil (quadro 3.2), ou seja, a diferença de cotas entre o nível da albufeira e o nível da restituição a jusante da central, subtraída da correspondente perda de carga no circuito hidráulico. Quanto maior for a queda útil, maior será a potência instalada no aproveitamento.

Quadro 3.2 – Classificação dos aproveitamentos consoante a queda útil (David e Oliveira)

Designação do aproveitamento	Queda útil (h)
Alta queda	$h > 250\text{m}$
Média queda	$50\text{m} \leq h \leq 250\text{m}$
Baixa queda	$h < 50\text{m}$

Quanto ao caudal, pode ser classificado de grande, médio ou pequeno, conforme consta no quadro 3.3. Quanto maior for o caudal escoado no circuito hidráulico gerador, maior será a potência instalada no aproveitamento:

Quadro 3.3 – Classificação dos aproveitamentos consoante o caudal (David e Oliveira)

Designação do aproveitamento	Caudal $Q$ ( $m^3/s$ )
Grande caudal	$Q > 100$
Médio caudal	$10 \leq Q \leq 100$
Pequeno caudal	$Q < 10$

Para as diferentes morfologias de cursos de água, existem diferentes tipos de aproveitamentos, sendo as barragens construídas mediante as suas características. Existem três tipos de aproveitamentos (David e Oliveira):

- Aproveitamento a fio-de-água (figura 3.2). As barragens integradas neste tipo de aproveitamento localizam-se em cursos de água com um declive pouco acentuado. Possuem pouca capacidade de armazenamento, o que faz com que as aflúências sejam lançadas para jusante quase instantaneamente. Definem-se como tendo uma duração de esvaziamento inferior a 100 horas, à potência máxima, não considerando caudais afluentes.



Fig.3.2 – Barragem de Crestuma-Lever (cnpqb.inag.pt)

- Aproveitamento com albufeira (figura 3.3). As barragens integradas neste tipo de aproveitamento têm capacidade de reter grande volume de água. Estes reservatórios são utilizados não só para produção de energia elétrica, mas também para regularização dos regimes do rio. Como este tipo de barragem tem capacidade de armazenamento, consegue-se assim, regularizar os fluxos de água, de modo a utilizá-los na época mais conveniente. Armazena-se água durante o inverno para utilização durante o verão

(período com baixa pluviosidade) obtendo-se uma produção de energia constante. Definem-se como tendo uma duração de esvaziamento igual ou superior a 100 horas, à potência máxima e sem considerar caudais afluentes.



Fig.3.3 – Barragem de Bemposta (cnpgb.inag.pt)

- Aproveitamento com albufeira e bombagem. Este tipo, tal como o anterior, retém a água em albufeira. Porém, estão equipados com turbinas-bombas que permitem o retorno da água para montante. Para que este sistema funcione, é necessário que exista uma albufeira, normalmente de menores dimensões, localizada a jusante da central, que armazene a água para ser bombada para montante. Durante as horas de maior consumo, a água da albufeira de montante é turbinada para a de jusante, produzindo energia elétrica. Nas horas de baixo consumo, em regra durante a noite, o sistema utiliza energia excedente da rede (por exemplo da produção da energia eólica) para elevar a água da albufeira de jusante para montante.

Por fim, classificam-se os aproveitamentos quanto ao serviço desempenhado:

- Central de base;
- Central de ponta.

Uma central diz-se de serviço de base quando funciona de modo contínuo e com carga praticamente constante. Os aproveitamentos a fio-de-água funcionam de modo permanente para não desperdiçar água turbinável.

As centrais de ponta são aquelas que funcionam com o objetivo de cobrir as necessidades energéticas nas horas de ponta de consumo e apenas funcionam durante essas horas. É o caso das centrais associadas a uma barragem com albufeira.

Relativamente à constituição geral de um aproveitamento hidroelétrico, consideram-se, essencialmente, os seguintes componentes:

- Barragem;
- Central e circuito hidráulico;
- Órgãos de segurança e exploração;
- Órgãos complementares.

Adiante são abordados cada um destes constituintes.

### 3.3. GRANDES APROVEITAMENTOS HIDROELÉTRICOS

De acordo com o INAG existem em Portugal 204 grandes barragens; destas, 62 estão associadas a aproveitamentos hidroelétricos mas apenas 33 a grandes aproveitamentos (potência instalada superior a 10 MW).

Estas 33 são alvo de estudo nesta dissertação, sendo avaliado o seu estado de segurança hidráulico-operacional de acordo com a legislação de segurança de barragens em vigor.

A análise do quadro 3.4 permite concluir que as barragens em estudo são muito antigas, verificando-se que a maioria foi construída há mais de 40 anos. Nos últimos 24 anos foram construídas apenas 5 das 33 barragens associadas aos grandes aproveitamentos hidroelétricos.

Quadro 3.4 – Grandes barragens construídas em Portugal. Adaptado de (Vale 2010)

Período de conclusão	Grandes barragens associadas a aproveitamentos hidroelétricos		Grandes Barragens portuguesas
	Total	Grandes Aproveitamentos	
Até 1950	6	2	17
1950 a 1960	19	10	24
1960 a 1970	9	5	16
1970 a 1980	6	6	28
1980 a 1990	6	5	30
1990 a 2000	12	3	56
2000 a 2010	4	2	33
<b>Total</b>	<b>62</b>	<b>33</b>	<b>204</b>

No quadro 3.5 apresenta-se a lista das 33 barragens integradas nos grandes aproveitamentos hidroelétricos que se encontram atualmente em exploração. Para cada um destes aproveitamentos, são apresentadas, no anexo A2, as principais características das barragens e dos órgãos de segurança que os constituem.

Quadro 3.5 – Barragens associadas aos grandes aproveitamentos hidroelétricos portugueses (EDP Produção 2013b)

Barragem	Curso de água	Altura da barragem (metros)	Ano de conclusão
Alto Lindoso	Lima	110	1992
Touvedo	Lima	42,5	1993
Alto Cávado	Cávado	29	1964
Alto Rabagão	Rabagão	94	1964
Paradela	Cávado	112	1956
Venda Nova	Rabagão	97	1951
Salamonde	Cávado	75	1953
Vilarinho das Furnas	Homem	94	1972
Caniçada	Cávado	76	1955
Miranda	Douro	80	1961
Picote	Douro	100	1958
Bemposta	Douro	87	1964
Pocinho	Douro	49	1982
Valeira	Douro	48	1975
Vilar	Távora	55	1965
Régua	Douro	41	1973
Varosa	Varosa	71	1976
Carrapatelo	Douro	57	1972
Torrão	Tâmega	70	1988
Crestuma-Lever	Douro	25,5	1985
Caldeirão	Caldeirão	39	1994
Aguieira	Mondego	89	1981
Raiva	Mondego	34	1981
Santa Luzia	Unhais	76	1943
Cabril	Zêzere	132	1954
Bouça	Zêzere	63	1955
Castelo de Bode	Zêzere	115	1951
Pracana	Ocreze	60	1951
Fratel	Tejo	48	1974
Lagoa Comprida	Caniça	28	1958
Covão do Meio	Loriga	27	1953
Belver	Tejo	36	1951
Alqueva	Guadiana	96	2002

No quadro 3.6 indicam-se os novos aproveitamentos hidroelétricos que entrarão em serviço em Portugal, até 2020. Alguns já se encontram na fase final de construção, prevendo-se a sua entrada em serviço no presente ano.

Quadro 3.6 – Novos aproveitamentos hidroelétricos (www.a-nossa-energia.edp.pt; Nunes 2012)

Central	Curso de água	Empresa responsável pela exploração	Potência instalada (MW)	Ano de entrada em serviço
Baixo Sabor	Sabor	EDP	171	2014
Ribeiradio	Vouga	EDP	81	2014
Foz Tua	Tua	EDP	252	2016
Fridão	Tâmega	EDP	238	2018
Gouvães	Torno/Tâmega	IBERDROLA	880	Até 2020
Alto Tâmega	Tâmega	IBERDROLA	160	Até 2020
Daivões	Tâmega	IBERDROLA	114	Até 2020
Girabolhos	Mondego	ENDESA	335	Até 2020

### 3.4. BARRAGEM

A barragem, como elemento estrutural de retenção de água, é constituída por: paramentos, coroamento, encontros e fundação.

Os paramentos são superfícies que limitam o corpo da barragem quer para jusante quer para montante, estando o paramento de montante em contacto com a água e o de jusante não.

O coroamento é a superfície que delimita superiormente o corpo da barragem. Na maior parte das barragens é aberto ao público, funcionando como via de ligação das duas margens do rio.

Os encontros são as partes do corpo da barragem em contacto com as margens do rio.

Por fim, a fundação é a parte inferior do corpo da barragem em contacto com o rio.

A classificação de uma barragem pode ser feita segundo vários critérios, sendo frequente segundo a sua importância, finalidade principal, materiais e tipos de estrutura (Quintela 1990).

#### 3.4.1. CLASSIFICAÇÃO DE BARRAGENS SEGUNDO A IMPORTÂNCIA

Segundo a importância, as barragens podem ser classificadas como pequenas ou grandes barragens.

A designação de grande barragem pode ter várias interpretações. Segundo a ICOLD (International Commission on Large Dams), que é a mais importante organização mundial sobre barragens e a quem é reconhecida competência para definir regras técnicas que garantam qualidade nas várias fases da sua vida, uma grande barragem é aquela que reúne os seguintes requisitos (Almeida, Gomes e Cordeiro 2001):

- Altura igual ou superior a 15 metros (medida a partir do ponto mais baixo da fundação);
- Altura entre 10 e 15 metros, desde que satisfaça pelo menos uma das seguintes condições:
  - capacidade da albufeira igual ou superior a  $1 \text{ hm}^3$  (1 milhão de metros cúbicos);
  - coroamento com desenvolvimento superior a 500 metros;
  - caudal de ponta de cheia de dimensionamento igual ou superior a  $2000 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
  - existência de problemas especiais de fundação;
  - obra de concepção não usual.

De acordo com o Regulamento de Segurança de Barragens Português atualmente em vigor a definição de grande barragem obedece apenas aos seguintes critérios (RSB 2007):

- Altura igual ou superior a 15 metros, medida a partir do ponto mais baixo da fundação;
- Altura igual ou superior a 10 metros, cuja albufeira tenha uma capacidade de armazenamento superior a  $1 \text{ hm}^3$  (1 milhão de  $\text{m}^3$ ).

As pequenas barragens são as que não cabem na definição anterior.

#### 3.4.2. CLASSIFICAÇÃO DE BARRAGENS SEGUNDO A FINALIDADE PRINCIPAL

Tendo em conta a finalidade para a qual são concebidas, as barragens podem ser classificadas em (Quintela 1990):

- Barragens para criar albufeira;
- Barragens de derivação;
- Barragens de detenção;
- Barragens de fins múltiplos.

As barragens concebidas com o intuito de criar albufeira têm como principal função a retenção de água nos meses húmidos para que possa ser utilizada nos meses secos para rega e abastecimento da população. É também aproveitada a elevação do nível de água na albufeira para a produção de energia elétrica. Podem ser produzidas grandes quantidades de energia durante todo o ano, e tanto mais quanto maior for a altura da queda de água.

As barragens de derivação visam desviar a água do curso normal do leito do rio para canais artificiais, para assim poder ser utilizada para diversos fins, como, por exemplo, a produção de energia elétrica, consumo público e rega.

As barragens de detenção, tal como o nome indica, têm como objetivo deter ou reter material sólido afluente. Também funcionam como regularizador de caudais, ou seja, podem amortecer cheias, retendo temporariamente algum volume.

Por fim, existem barragens, designadas de fins múltiplos, que conjugam todas as funções referidas.

#### 3.4.3. CLASSIFICAÇÃO DE BARRAGENS SEGUNDO OS MATERIAIS E TIPOS DE ESTRUTURA

Relativamente aos materiais constituintes das barragens, podem-se considerar dois grupos (Quintela 1990):

- Barragens de betão e de alvenaria;
- Barragens de aterro.

As barragens de betão e de alvenaria são geralmente consideradas num mesmo grupo, pois ambas utilizam ligante hidráulico para conseguir coesão entre as partículas. Por essa razão, as barragens de betão são consideradas as sucessoras das barragens de alvenaria, possuindo também o mesmo tipo de estruturas.

Há também casos em que a barragem é constituída por trechos de betão e de aterro, em que parte do paramento é de aterro e outra parte de betão.

Os principais tipos de barragens de betão são: gravidade, contrafortes e abóbadas.



As barragens de aterro compreendem as barragens de terra com perfil homogéneo ou perfil zonado e as barragens de enrocamento. A construção do corpo da barragem faz-se utilizando unicamente materiais no estado natural, sem a adição de ligantes. As barragens de aterro podem ser construídas em zonas em que as condições geológicas não sejam muito boas, uma vez que não necessitam de uma fundação muito resistente como no caso das barragens de betão.

#### 3.4.3.1. Barragens de betão do tipo gravidade

As barragens de betão do tipo gravidade têm a estabilidade assegurada, tal como o nome indica, pelo seu peso próprio. O perfil transversal é aproximadamente triangular, com o paramento de montante vertical ou ligeiramente inclinado (figura 3.4).

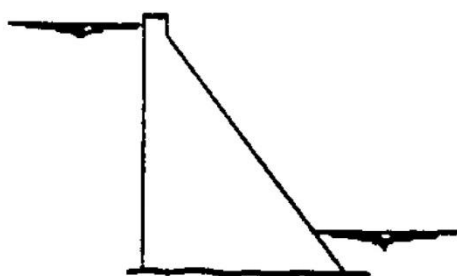


Fig.3.4 – Perfil transversal de barragens de betão do tipo gravidade. Adaptado de (Quintela 1990)

As estruturas das barragens de gravidade podem também ser aligeiradas, através de um vazamento, sendo denominadas barragens de gravidade aligeirada. A barragem do Torrão é um exemplo do tipo gravidade aligeirada (figura 3.5).



Fig.3.5 – Barragem do Torrão (cnpqb.inag.pt)

### 3.4.3.2. Barragens de betão do tipo contrafortes

As barragens de contrafortes apresentam uma estrutura contínua a montante, assegurando assim a estanquidade, enquanto a jusante elementos descontínuos funcionam como suporte (figura 3.6). Este tipo de estrutura tem como vantagem a economia de betão, mas aumenta a dificuldade de execução. A barragem de Pracana (figura 3.7) é um exemplo do tipo contrafortes.

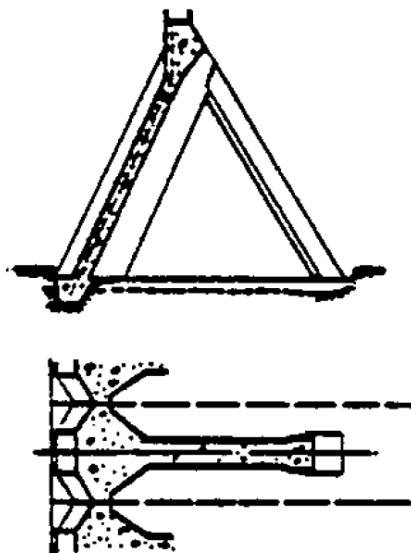


Fig.3.6 – Planta e perfil transversal de barragem de betão do tipo contrafortes. Adaptado de (Quintela 1990)



Fig.3.7 – Barragem de Pracana (cnpqb.inag.pt)

### 3.4.3.3. Barragens de betão do tipo abóbada

As barragens de betão do tipo abóbada possuem uma curvatura côncava para montante (figura 3.8) de modo a transmitirem o efeito provocado pela pressão da água para a fundação e para os encontros com ambas as margens. Devido ao efeito do arco, as dimensões da estrutura conseguem ser menores que as do tipo gravidade, havendo assim uma redução do volume de betão. Este tipo de estrutura é normalmente construída em vales em “V” relativamente estreitos.

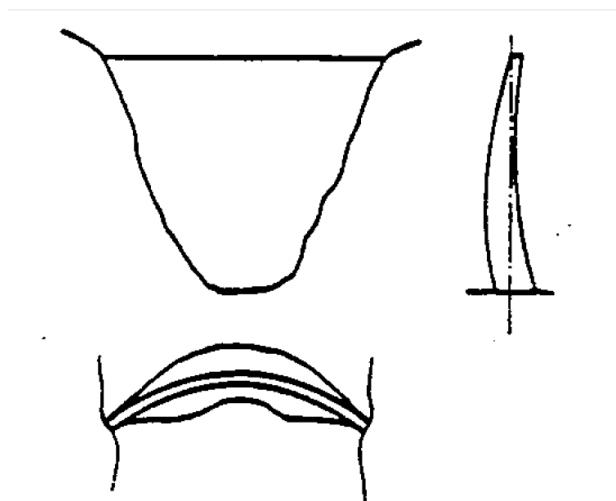


Fig.3.8 – Planta, alçado e perfil transversal de barragens de betão do tipo abóbada. Adaptado de (Quintela 1990)

Este género de barragem pode ser constituído por uma única curvatura horizontal ou por dupla curvatura, horizontal e vertical. Pode ainda ser constituída por mais que uma abóbada, designada de múltiplas abóbadas. A barragem do Alqueva (figura 3.9) é um exemplo de uma barragem de dupla curvatura.



Fig.3.9 – Barragem do Alqueva (cnpqb.inag.pt)



#### 3.4.3.4. Barragens de betão do tipo arco de gravidade

Trata-se de uma barragem de gravidade, mas em forma de arco. Possui uma grande espessura e, ao contrário das barragens em abóbada, a sua forma não contribui para uma melhor distribuição das forças. A barragem de Bemposta é um exemplo deste tipo de estrutura (figura 3.3).

#### 3.4.3.5. Barragens de aterro

As barragens de aterro são as mais numerosas em Portugal (Miranda 2010). Estas podem ser classificadas como sendo de terra se o seu corpo for constituído por mais de 50% de solo compactado. Por sua vez, as barragens de terra podem ser classificadas como homogéneas ou zonadas (Quintela 1990).

As barragens de terra são homogéneas (figura 3.10) quando a constituição do material é sensivelmente idêntica, devido ao facto de, por vezes, não existirem materiais de empréstimo com diferente granulometria.

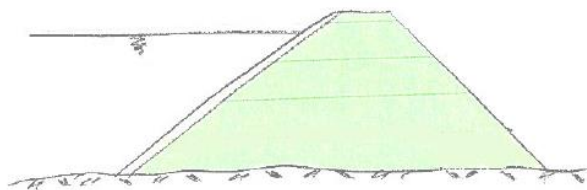


Fig.3.10 – Barragem de terra homogênea. Adaptado de (fenix.tecnico.ulisboa.pt)

As barragens de terra do tipo zonadas (figura 3.11), tal como o nome indica, utilizam na sua construção dois tipos de materiais com características distintas. É construído um núcleo com um material impermeável, envolto pelo corpo da barragem por um material mais permeável.

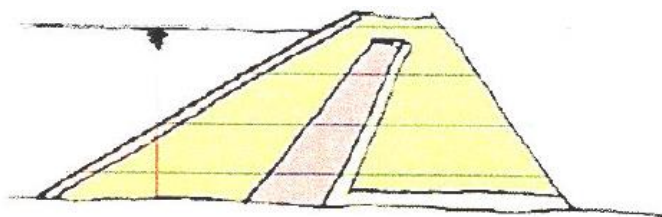


Fig.3.11 – Barragem de terra zonada. Adaptado de (fenix.tecnico.ulisboa.pt)

As barragens de aterro são classificadas de enrocamento (figura 3.12) se mais de 50% do volume do seu corpo for constituído por enrocamento. São constituídas por maciços de materiais granulares de dimensões variáveis para que assegurem a estabilidade do corpo da barragem por imbricamento entre os maciços. É necessário criar uma zona impermeável, podendo ser constituída por uma cortina no paramento de montante, de betão armado por exemplo ou um núcleo central constituído por solo.

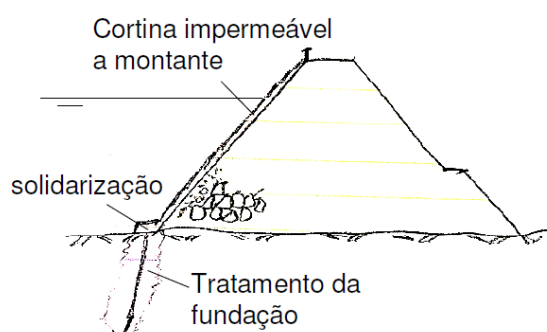


Fig.3.12 – Barragem em aterro de enrocamento. Adaptado de ( fenix.tecnico.ulisboa.pt)

Um exemplo de uma barragem Portuguesa do tipo enrocamento com cortina de impermeabilização a montante é a barragem de Paradela (figura 3.13).



Fig.3.13 – Barragem de Paradela (cnpqb.inag.pt)

#### 3.4.4. TIPOS DE BARRAGENS PORTUGUESAS

O quadro 3.7 mostra o número de barragens portuguesas construídas por década e por tipo de material construtivo.

As barragens de aterro e as de betão existem em igual número. De salientar que 1/3 das barragens de aterro foram construídas na década de 90 do século passado, enquanto que as barragens de betão foram construídas mais uniformemente, sobretudo ao longo da segunda metade do mesmo século. As barragens de alvenaria existem em muito menor número e são as mais antigas. A partir de 1960, não se construíram mais barragens deste tipo em Portugal.

No que diz respeito às barragens que integram aproveitamentos hidroelétricos, a situação é diferente. Conforme se verifica no quadro 3.8, o número de barragens de aterro é muito reduzido. Apenas foram construídas três, de 1920 até 2001. As barragens de alvenaria também são também em número reduzido, ou seja, as barragens Portuguesas que integram aproveitamentos hidroelétricos são na sua maioria de betão.

Quadro 3.7 – Classificação das principais barragens portuguesas (Miranda 2010)

Período de conclusão	Número de barragens construídas					
	Barragens de aterro	Barragens de alvenaria	Barragens de betão			
			Gravidade e contrafortes	Arco-gravidade	Abóbada	Total
1920 - 1940	1	3	1			1
1941 - 1950	2	2	1		2	3
1951 - 1960	6	5	4	2	7	13
1961 - 1970	7		7	1	1	9
1971 - 1980	8		5		3	8
1981 - 1990	7		8		3	11
1991 - 2000	20		7	1	3	11
2001 - 2010	9		2	1	1	4
Total	60	10	35	5	20	60

Quadro 3.8 – Classificação das principais barragens que integram aproveitamentos hidroelétricos (Miranda 2010)

Período de conclusão	Número de barragens construídas					
	Barragens de aterro	Barragens de alvenaria	Barragens de betão			Total
			Gravidade e contrafortes	Arco-gravidade	Abóbada	
1920 - 1940		2	1			1
1941 - 1950		2			2	2
1951 - 1960	1	4	2	2	6	10
1961 - 1670	1		3	1	1	5
1971 - 1980			4		2	6
1981 - 1990			4		2	6
1991 - 2000	1		1		2	3
2001 - 2010			1		1	2
<b>Total</b>	<b>3</b>	<b>8</b>	<b>16</b>	<b>3</b>	<b>16</b>	<b>35</b>

### 3.5. CENTRAL E CIRCUITO HIDRÁULICO

O circuito hidráulico é o responsável pelo transporte da água retida na albufeira até ao órgão produtor de energia elétrica (turbina associada a um alternador) e deste até à sua restituição à linha de água. O alternador transforma a energia cinética, inerente à velocidade adquirida pela passagem de água no circuito hidráulico, em energia elétrica. À saída do alternador a tensão é ainda aumentada numa subestação, para ser depois transportada até aos centros de consumo. O local onde se situam os grupos geradores designa-se por central.

O facto de um circuito ser longo justifica-se pelo aumento da queda útil que proporcionam, a qual influencia diretamente a potência instalada e consequentemente a energia produzida. Um exemplo de um circuito hidráulico longo é o do aproveitamento do Alto Lindoso (figura 3.14).

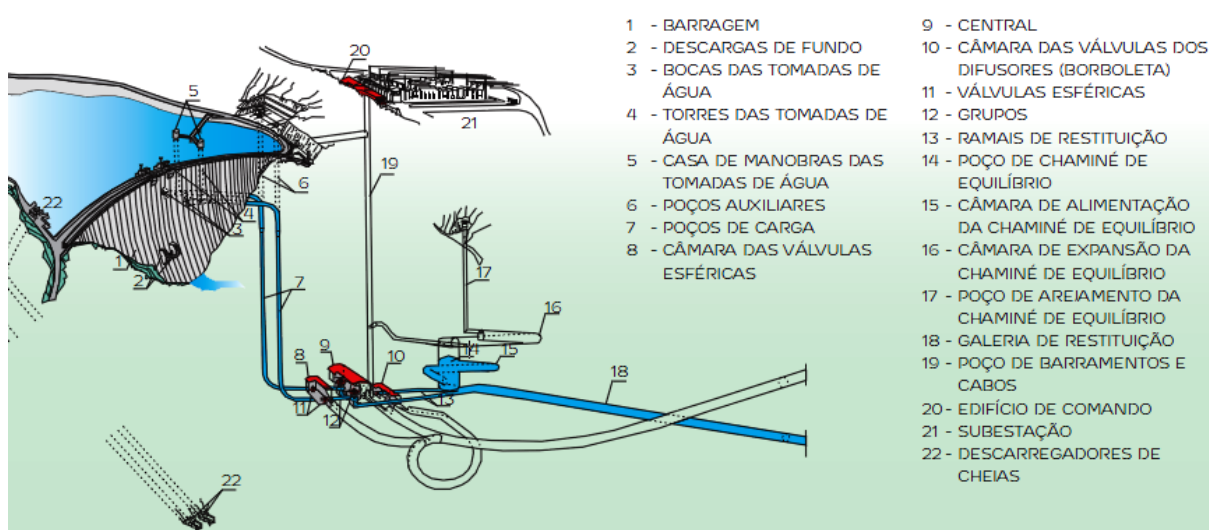


Fig.3.14 – Circuito hidráulico do aproveitamento do Alto Lindoso (EDP Produção 2013a)

Um exemplo de circuito hidráulico curto está presente no aproveitamento de Pracana (figura 3.15). Neste caso a central encontra-se junto ao paramento de jusante da barragem.

Relativamente às centrais, estas podem ser subterrâneas ou situadas à superfície. Podem situar-se junto da barragem ou afastadas da mesma. A central do aproveitamento hidroelétrico de Pracana (figura 3.15), situa-se no pé da barragem, enquanto que a central do Alto Lindoso (figura 3.14) é subterrânea e encontra-se afastada da barragem.

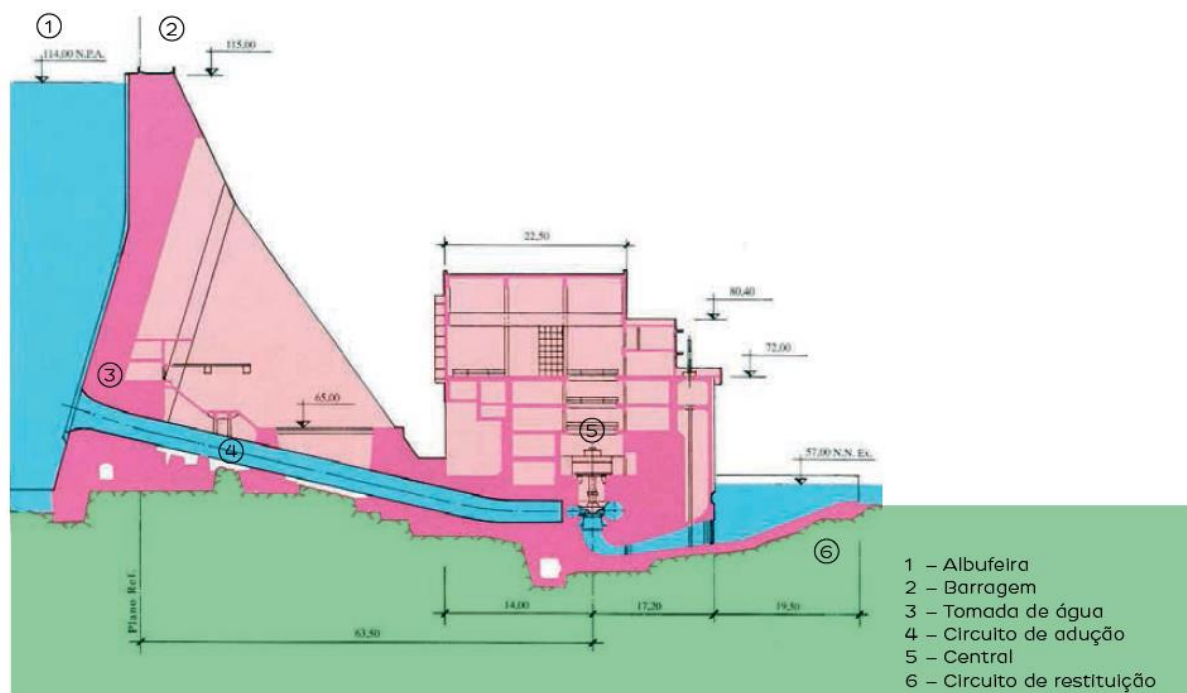


Fig.3.15 – Circuito hidráulico do aproveitamento hidroelétrico de Pracana (EDP Produção 2013a)

### 3.6. ÓRGÃOS DE SEGURANÇA E EXPLORAÇÃO

Os órgãos de segurança e exploração fazem parte integrante da constituição de uma barragem, desempenhando um papel fundamental no seu funcionamento e no controlo de segurança.

Os principais órgãos de segurança e exploração numa barragem são os descarregadores de cheias e as descargas de fundo (adiante apresenta-se a sua constituição e tipologia).

Os descarregadores de cheias podem ou não ser equipados com comportas. As descargas de fundo dispõem sempre de equipamento de obturação. O adequado funcionamento do equipamento é essencial para o controlo da segurança, pois se ocorrer uma falha, não permitindo o escoamento em caso de emergência, pode originar acidentes graves. Como já foi mencionado no capítulo 2, há registo de vários acidentes deste tipo, provocados, na sua maioria, por falta de manutenção.

Os equipamentos de obturação são fundamentalmente constituídos por comportas e válvulas, podendo ser acionados manual ou remotamente.

As comportas podem ser fundamentalmente de três tipos: comportas planas, comportas de segmento e comportas de charneira ou basculantes (Quintela 1990).

As comportas planas podem ser aplicadas em descarregadores de superfície (sobre a barragem ou em canal de encosta), ou em orifícios através da barragem. Trata-se, como o nome indica, de uma comporta em forma de tabuleiro, com pelo menos a face do lado de montante plana. A sua abertura é feita por subida vertical do tabuleiro, podendo ser acionado por meio de servomotores.

As comportas segmento podem também ser utilizadas nos descarregadores ou nas descargas de fundo. Ao contrário das planas, têm a face de montante em forma de segmento de cilindro circular e o seu acionamento processa-se por articulação de uns braços posicionados radialmente às comportas. Os descarregadores de cheia da barragem de Bemposta (figura 3.3) são equipados com este tipo de comportas.



As comportas de charneira ou basculante são de acionamento basculante, articuladas na base. São, normalmente, utilizadas em descarregadores de superfície, com articulação sobre a soleira descarregadora. Podem também estar associadas à parte superior das comportas de segmento, facilitando assim a passagem de material flutuante e permitindo também uma regulação mais minuciosa dos caudais a escoar.

As válvulas são utilizadas como órgão de obturação de condutas sob pressão, quer se trate de descargas de fundo ou descarregadores de cheia por orifício. Estas podem ser em forma de cunha de acionamento vertical, do tipo borboleta, com eixo vertical no centro da conduta, no qual gira uma comporta, ou através de um sistema de válvula cónica existente na extremidade da conduta.

De referir, ainda a eventual necessidade, no que respeita aos equipamentos das descargas de fundo e dos descarregadores de cheia por orifício, da existência de grades na extremidade de montante das condutas, ou seja, na zona de captação de água, para evitar a passagem de materiais de maior dimensão, capazes de obstruir a conduta ou de danificar a válvula.

### 3.6.1. TIPOS DE DESCARREGADORES DE CHEIAS

O descarregador de cheias é um dos órgãos de segurança e exploração da barragem, tendo como função descarregar água em excesso da albufeira em período de cheias.

Um descarregador é constituído por (Quintela 1990):

- Soleira descarregadora;
- Canal de descarga;
- Estrutura de dissipação de energia ou trampolim de saída.

Os descarregadores podem classificar-se segundo os seguintes critérios (Quintela 1990):

- Localização e controlo de caudal;
- Guiamento da lâmina líquida e modo de dissipação de energia.

Os aspetos anteriores determinam a constituição geral dos descarregadores e as suas condições gerais de funcionamento.

Quanto à localização, os descarregadores podem ser dos seguintes tipos:

- Sobre a barragem;
- Por orifícios através da barragem;
- Em canal de encosta;
- Em poço;
- Diques fusíveis.

Quanto ao guiamento da lâmina líquida e ao modo de dissipação de energia, pode considerar-se:

- Queda livre e dissipação de energia no leito;
- Queda guiada e trampolim de saída (salto de esquí) com dissipação de energia no leito;
- Queda guiada e dispositivo de dissipação de energia.

#### 3.6.1.1. Descarregador de cheia sobre a barragem

Este tipo de descarregador é normalmente utilizado em barragens de betão ou de alvenaria de pedra, uma vez que nas barragens de aterro a deformabilidade da barragem e os problemas de percolação

dificultam a sua construção sobre o paramento de jusante. Mais recentemente já se construíram descarregadores em canal sobre barragens de aterro, designados descarregadores não convencionais, com características que permitem ultrapassar as dificuldades descritas em cima.

Os descarregadores podem ser aplicados em barragens de betão de qualquer tipo, com descarga livre ou controlada por comportas. O controlo da lâmina líquida pode ser efetuado por canal apoiado parcial ou totalmente sobre a barragem, como no caso de Picote (figura 3.25), possuindo na zona terminal uma estrutura que permite efetuar a dissipação de energia. O escoamento pode também efetuar-se em queda livre, como por exemplo na barragem de Bouçã (figura 3.24), atingindo a água diretamente o pé da barragem sob a forma de jato. Neste último caso, é necessária, a existência de uma bacia de dissipação de energia, caso o leito do rio não seja constituído por rocha de boa qualidade, a fim de assegurar a integridade do leito ao longo da vida da obra.

#### 3.6.1.2. Descarregador de cheias por orifício

Os descarregadores de cheias por orifícios são utilizados em barragens de betão de qualquer tipo, com descarga controlada obrigatoriamente por comportas. A barragem do Alqueva (figura 3.9) possui dois descarregadores por orifício, localizados no corpo da barragem.

Os jatos originados pelas descargas dos orifícios podem atingir o leito próximo da barragem ou uma zona mais a jusante, dependendo da carga hidráulica presente na albufeira e da geometria dos orifícios. No caso de as descargas atingirem o leito do rio, numa zona próxima do pé da barragem, é necessário tomar medidas que impeçam a erosão da zona de fundação.

#### 3.6.1.3. Descarregador de cheias através de canal de encosta

Os descarregadores de cheias construídos em encostas podem ser instalados em qualquer tipo de barragem, sendo mais frequentes em barragens de aterro devido às dificuldades inerentes à construção de descarregadores sobre este tipo de estrutura. O escoamento pode ser livre ou controlado por comportas. O canal é normalmente de secção retangular e a céu aberto, possuindo na extremidade um trampolim ou um dispositivo de dissipação de energia.

Um exemplo deste tipo de descarregador está presente na barragem de Paradela. O descarregador (figura 3.16) é controlado por comportas e apresenta secção retangular.



Fig.3.16 – Descarregador de cheias da barragem de Paradela

### 3.6.1.4. Descarregador de cheias em poço

Este tipo de descarregador é utilizado em todo o tipo de barragens e pode ser em poço vertical (figura 3.17) ou inclinado, seguido de uma galeria. O controlo de escoamento pode ou não ser controlado por comportas, sendo a segunda situação preferível por questões de segurança. Neste tipo de descarregador, é necessária a construção de uma conduta vertical de arejamento para que o escoamento se apresente em superfície livre imediatamente a seguir à curva.

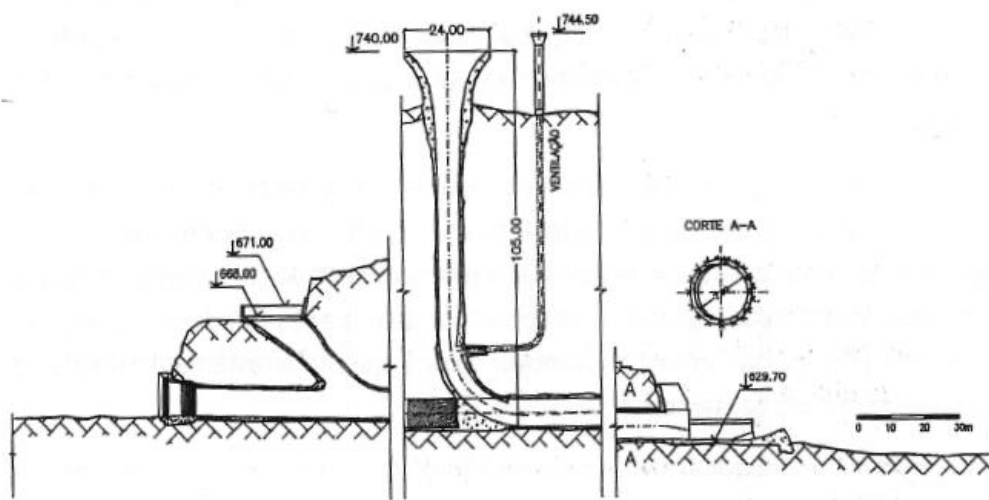


Fig.3.17 – Descarregador de cheias em poço vertical da barragem de Paradelá (Afonso et al. 2001)

### 3.6.1.5. Descarregador através de diques fusíveis

Os descarregadores através de diques fusíveis são utilizados só em caso de emergência, funcionando, na sua maioria, em paralelo com outro descarregador principal, de outro dos tipos mencionados.

São constituídos, em geral, por um perfil em aterro, construído sobre soleira de betão. O objetivo deste aterro, é, em caso de galgamento, que se inicie o processo de destruição do mesmo, permitindo assim a libertação de maiores quantidades de água. São utilizadas disposições construtivas no dique fusível para facilitar a sua autodestruição, como por exemplo o rebaixamento de parte do coroamento do dique numa pequena extensão.

### 3.6.2. TIPOS DE SOLEIRAS DOS DESCARREGADORES

A soleira nos descarregadores de cheia é o elemento que faz o controlo da transição da lâmina de água da albufeira para o canal do descarregador. Esta pode ter várias formas e diferentes tipos de funcionamento. De seguida apresentam-se, sumariamente, as principais características dos seguintes tipos de soleiras:

- Soleira em labirinto;
- Soleira tipo WES;
- Soleira circular;
- Soleira em bico de pato (leque);

As soleiras descarregadoras podem ser “de parede espessa” ou “de parede delgada”. Designam-se do primeiro tipo se a lâmina líquida descarregada contacta com a soleira ao longo de uma superfície com comprimento apreciável. Nas de parede delgada, a lâmina líquida contacta com a soleira ao longo de uma superfície de pequeno desenvolvimento (Afonso et al. 2001).

#### 3.6.2.1. Soleira em labirinto

A soleira descarregadora em labirinto (figura 3.18) é uma soleira de parede fina, constituída por um ou mais módulos, em que a crista apresenta um traçado poligonal. Este tipo de traçado permite um maior desenvolvimento da crista, comparativamente à largura do canal em que está inserida, aumentando, assim, consideravelmente a secção de descarga.

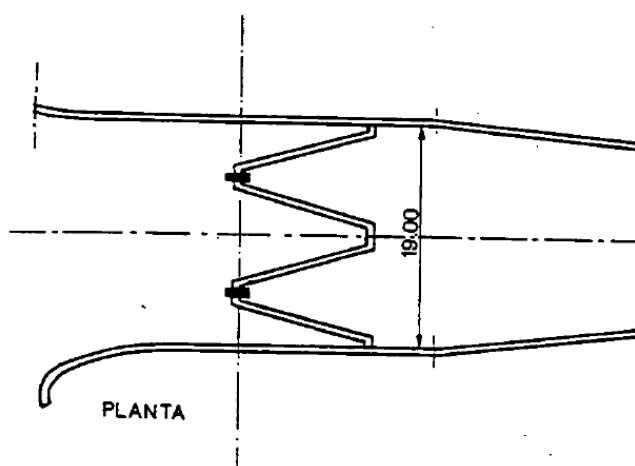


Fig.3.18 – Soleira em labirinto (Quintela 1990)

#### 3.6.2.2. Soleira tipo WES

A soleira do tipo WES (Waterways Experiment Station) é uma das soleiras espessas mais utilizadas em descarregadores de cheia. Estas podem apresentar o paramento de montante vertical ou com vários tipos de inclinação (figura 3.19).

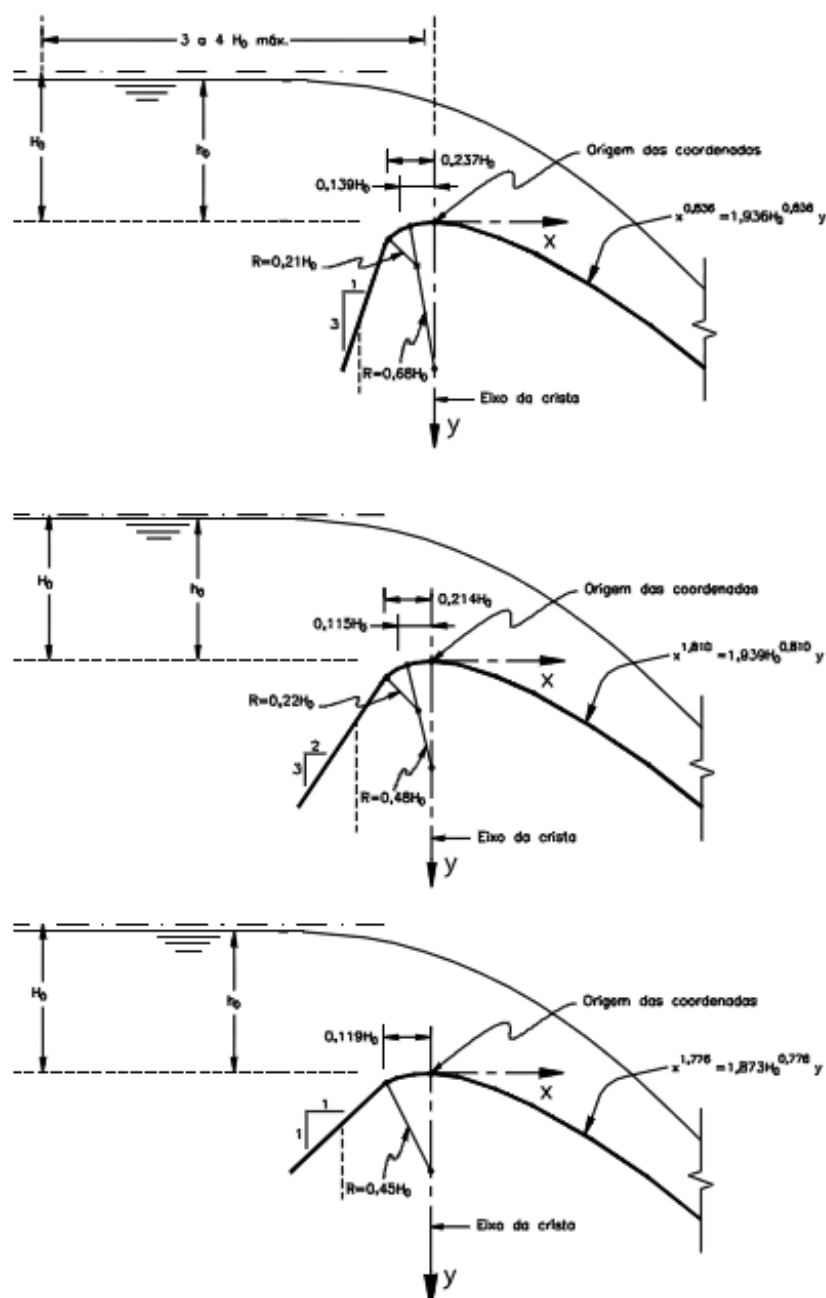


Fig.3.19 – Soleira espessa do tipo WES com várias inclinações do paramento de montante (Afonso et al. 2001)

### 3.6.2.3. Soleira circular

Este tipo de soleira é utilizado nos descarregadores em poço, podendo apresentar-se com parede delgada ou espessa (figura 3.20). O descarregador de cheias em poço da barragem de Paradela possui este tipo de soleira (figura 3.21).

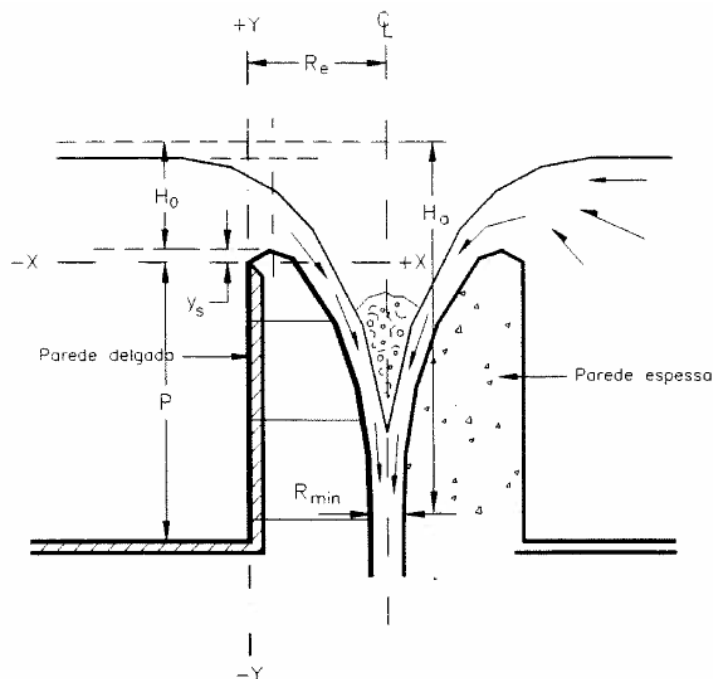


Fig.3.20 – Soleira circular de parede delgada e parede espessa (Afonso et al. 2001)



Fig.3.21 – Descarregador com soleira circular da barragem de Paradela

#### 3.6.2.4. Soleira em bico de pato (leque)

A soleira em bico de pato tem funcionamento semelhante à soleira em labirinto, tendo a forma do nome que lhe foi atribuído. Tal como as soleiras em labirinto, permitem aumentar o comprimento da crista do descarregador.

#### 3.6.3. ÓRGÃOS DE DISSIPAÇÃO DE ENERGIA

Uma das principais preocupações durante a descarga de caudais, provenientes dos descarregadores de cheias ou das descargas de fundo, é a restituição dos referidos caudais a jusante, em condições semelhantes à do escoamento normal do curso de água. O desnível entre o nível da água da albufeira e o nível do local de restituição dos caudais (dependendo da altura da albufeira), pode ser bastante

elevado, fazendo com que o escoamento tenha bastante energia, provocando danos a jusante. Se o local de restituição dos caudais for próximo do paramento de jusante da barragem, tais erosões podem pôr em causa a segurança estrutural desta estrutura. Assim, para tal, é necessário tomar medidas que permitam dissipar parte dessa energia.

Os órgãos de dissipação de energia habitualmente mais utilizados em descarregadores de cheias são (Afonso et al. 2001):

- Bacias de dissipação de energia por ressalto hidráulico;
- Conchas de rolo;
- Bacias de dissipação de energia por jatos.

Estes órgãos de dissipação de energia são estruturas criadas no local de restituição dos caudais, normalmente no leito do rio, a jusante da barragem, conforme já atrás referido. Também há casos em que na extremidade de jusante dos descarregadores existe uma estrutura em trampolim (salto de esqui), com o objetivo de afastar do pé da barragem a zona de impacto e dispersar o jato, aumentando assim a área de impacto e promovendo o emulsão de partículas de ar que facilitam a dissipação de energia.

### 3.6.3.1. Bacias de dissipação de energia por ressalto hidráulico

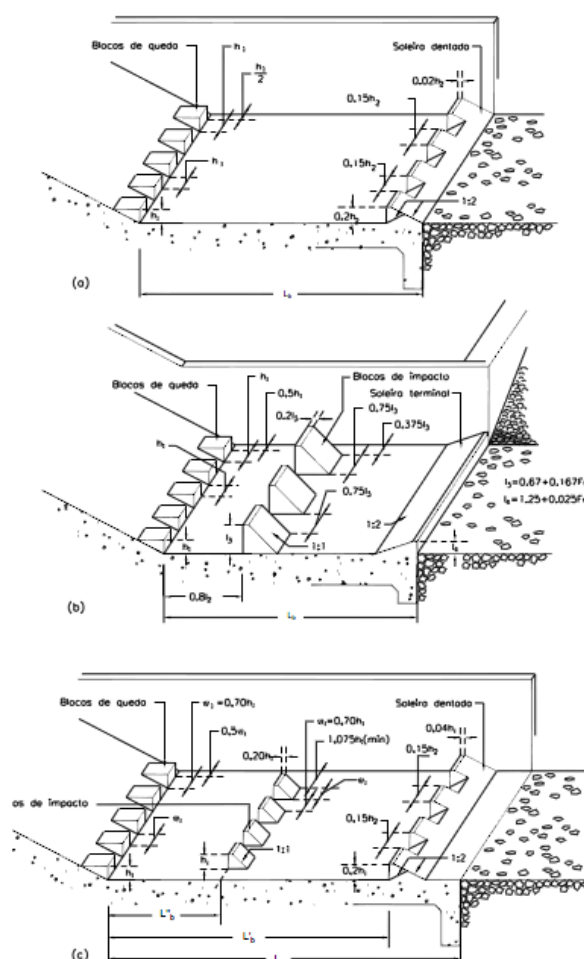


Fig.3.22 – Bacias de dissipação de energia por ressalto propostas por BUREC (Afonso et al. 2001)



Na dissipação de energia dos caudais descarregados pelos descarregadores de cheia, recorre-se, muitas vezes a fenómenos de ressalto hidráulico. O ressalto hidráulico é localizado numa estrutura realizada em betão, na qual se dá a passagem do escoamento de regime rápida para regime lento, desenvolvendo-se elevada turbulência que conduz a uma considerável dissipação de energia. Existem vários tipos de estruturas capazes de conter o ressalto hidráulico. Entre as mais utilizadas estão as propostas por BUREC (United States Bureau of Reclamation) (figura 3.22). Estas estruturas dispõem de blocos que permitem reduzir o comprimento da bacia de dissipação. Podem ser de três tipos: a bacia do tipo II (figura 3.22 a) dispõe de blocos de queda e de uma soleira terminal dentada; a bacia do tipo III (figura 3.22 b) é dotada de blocos de queda, blocos de impacto e de soleira terminal em rampa ascendente; por fim, a bacia do tipo IV (figura 3.22 c) tem blocos de queda e soleira terminal em rampa ascendente.

Este tipo de solução está presente na barragem de Torrão (figura 3.5).

### 3.6.3.2. Bacias de dissipação por conchas de rolo

As conchas de rolo, também designados por trampolim submerso (figura 3.23), promovem a formação de um turbilhão de eixo horizontal que provoca a dissipação de energia do escoamento.

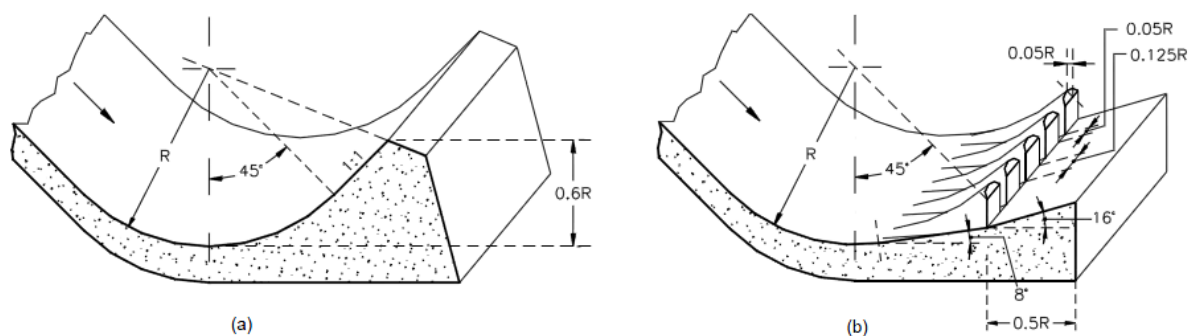


Fig.3.23 – Conchas de rolo: (a) sem blocos; (b) com blocos (Afonso et al. 2001)

### 3.6.3.3. Bacias de dissipação de energia por jatos

Este tipo de dissipação de energia evita a construção de uma estrutura como as das bacias de dissipação atrás referidas. Neste caso, a dissipação é conseguida através do emulsão e atrito do jato com o ar e do impacto com o leito do rio ou com um colchão de água formado a jusante da barragem.

A formação do colchão de água é conseguida com a construção de um pequeno açude a jusante da barragem, criando uma altura de água capaz de absorver o impacto do caudal descarregado.

No caso de as descargas serem realizadas diretamente no leito do rio, é necessário verificar, face às suas características geológicas, se é necessário proceder à sua proteção.

Na dissipação de energia por jatos, existem algumas variantes no modo como é realizada a descarga e a dissipação. Esta pode ser feita por queda livre com emulsão e impacto do jato descarregado, como é o caso da barragem da Bouçã (figura 3.24).



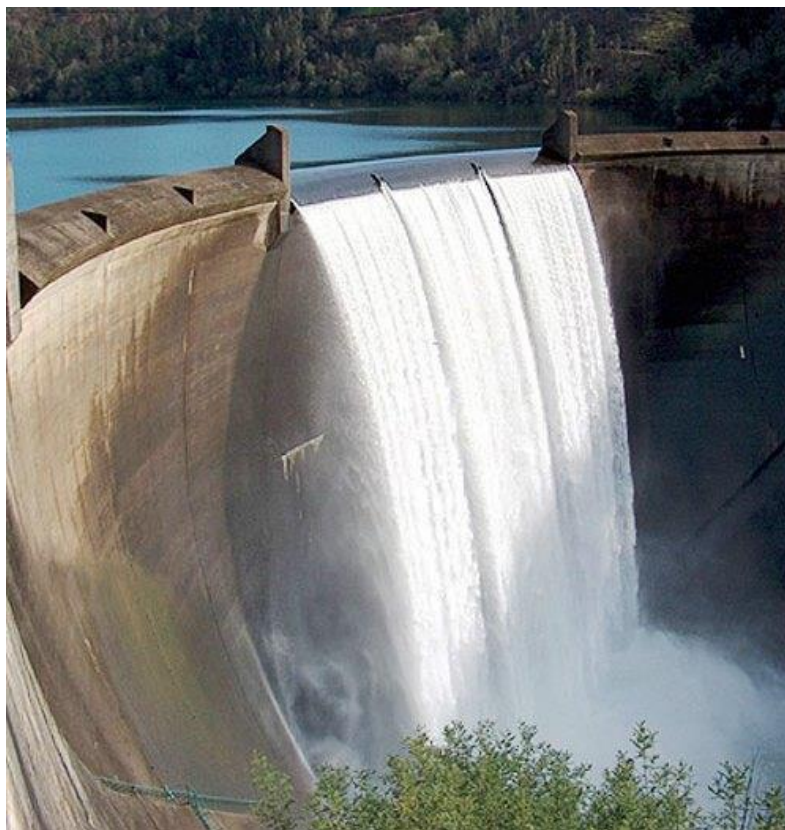


Fig.3.24 – Descarregador de cheias da Barragem da Bouça ([www.dueceira.pt](http://www.dueceira.pt))

A dissipação de energia pode também ser realizada em trampolim, como acontece nos descarregadores de cheia das barragens de Picote (figura 3.25) e Alqueva (figura 3.9). No caso da barragem de Picote, para além da dissipação através do trampolim, existe também um colchão de água na zona de impacto.



Fig.3.25 – Barragem de Picote. Descarregador de cheias com trampolim de saída ([cnpqb.inag.pt](http://cnpqb.inag.pt))

Pode ainda efetuar-se dissipação de energia por meio de jatos cruzados, promovendo a colisão de duas lâminas de água, lançadas por trampolins adequadamente direcionados.

#### 3.6.4. DESCARGAS DE FUNDO

A descarga de fundo é um órgão de segurança e exploração da barragem, que tem como principais funções (Quintela 1990):

- Esvaziamento total ou parcial da albufeira, na eminência de perigo de rutura, ou para trabalhos de reparação;
- Controlo de subida do nível da água da albufeira durante o primeiro enchimento, permitindo assim um aumento de carga gradual.

A descarga de fundo permite ainda o escoamento de sedimentos acumulados na albufeira próximo da sua estrutura de entrada.

As descargas de fundo podem ser de três tipos (Afonso et al. 2001):

- Através de túneis escavados em rocha;
- Através de barragens de betão;
- Em condutas sob aterros.

As descargas de fundo através de túneis escavados em rocha são normalmente utilizadas em barragens construídas em vales de vertentes abruptas, sendo muitas vezes aproveitadas as galerias utilizadas para o desvio provisório do rio durante a construção da barragem. A barragem de Alqueva (figura 3.9) é um exemplo em que a descarga de fundo se encontra inserida na galeria de desvio provisório.

No caso das barragens de betão, as descargas de fundo são, normalmente, constituídas por condutas que atravessam o seu corpo (figura 3.26). No caso da barragem ter uma altura considerável, estas condutas têm de ser blindadas para evitar problemas de cavitação, em consequência das elevadas velocidades do escoamento.

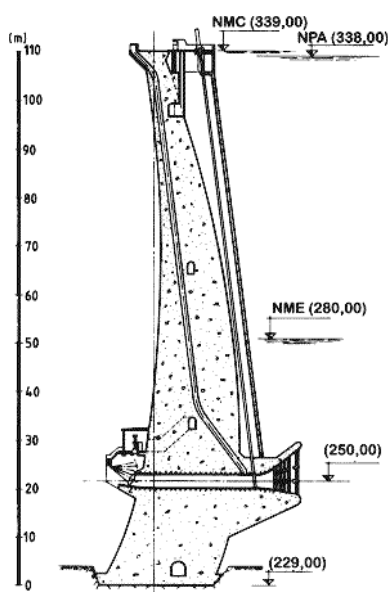


Fig.3.26 – Descarga de fundo da barragem do Alto Lindoso (cnpqb.inag.pt)

As descargas de fundo de barragens de aterro são habitualmente constituídas por condutas posicionadas sob a barragem e que, em muitos casos, tal como no caso das descargas em túnel escavado em rocha, foram utilizadas, durante a construção da barragem, para o desvio provisório da linha de água.

Tal como os descarregadores de cheia, as descargas de fundo necessitam de órgãos de dissipação de energia. A tipologia destes dispositivos, quando as descargas de fundo não se encontram equipadas com válvulas dispensoras, é análoga à utilizada nos descarregadores de cheias, conforme já anteriormente apresentado.

### **3.6.5. TOMADAS DE ÁGUA**

As tomadas de água são órgãos hidráulicos de captação de água da albufeira para vários fins, tais como (Afonso et al. 2001):

- Abastecimento público e industrial;
- Irrigação;
- Produção hidroelétrica;
- Abastecimento de circuitos de refrigeração;
- Manutenção de caudais ecológicos no leito a jusante da barragem.

De acordo com a finalidade, tipologia da barragem e com condicionamentos de projeto, as tomadas de água podem ser de vários tipos (Afonso et al. 2001):

- Através da barragem, no caso das barragens de betão (figura 3.15);
- Em torre separada do corpo da barragem, com acesso por passadiço, mais frequente em barragens de aterro;
- Em torre de tomada de água adjacente à barragem, no caso de barragens de betão;
- Em estrutura fundada numa das vertentes, frequentemente seguida de túnel;
- Em estrutura flutuante, no caso de tomadas de água temporárias.

## **3.7. ÓRGÃOS COMPLEMENTARES**

Os órgãos complementares de uma barragem, tal como o nome indica, são estruturas que, ao contrário dos órgãos de segurança e exploração, não são essenciais para o correto funcionamento da barragem. A implementação destes órgãos não é obrigatória. Daí não estarem presentes em todas as barragens. Os principais órgãos complementares são:

- Eclusas de navegação;
- Dispositivos de transposição de peixes;
- Dispositivos de libertação de caudal ecológico.

### **3.7.1. ECLUSAS DE NAVEGAÇÃO**

As eclusas de navegação (figura 3.27) são dispositivos que permitem a circulação de embarcações através da barragem. Funcionam como um elevador, possibilitando a circulação no curso de água em que se insere a barragem. Caso o barco pretenda transpor a barragem para montante, o procedimento é o seguinte: abre-se a comporta de jusante da eclusa, a embarcação entra, fecha-se a comporta e

procede-se ao enchimento da eclusa. Quando a embarcação atinge o nível de água de montante, abre-se a correspondente comporta e a embarcação sai. Para descer, o processo é inverso.

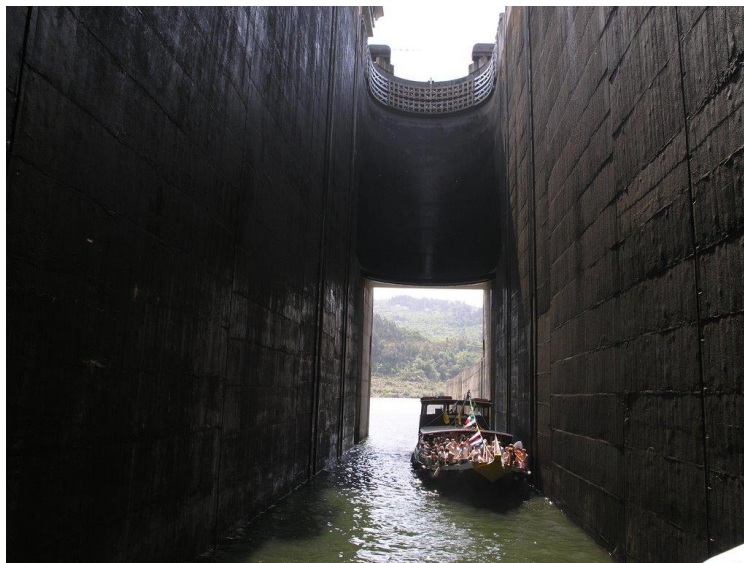


Fig.3.27 – Eclusa de navegação da barragem de Carrapatelo ([www.panoramio.com](http://www.panoramio.com))

### 3.7.2. DISPOSITIVOS DE TRANSPOSIÇÃO DE PEIXES

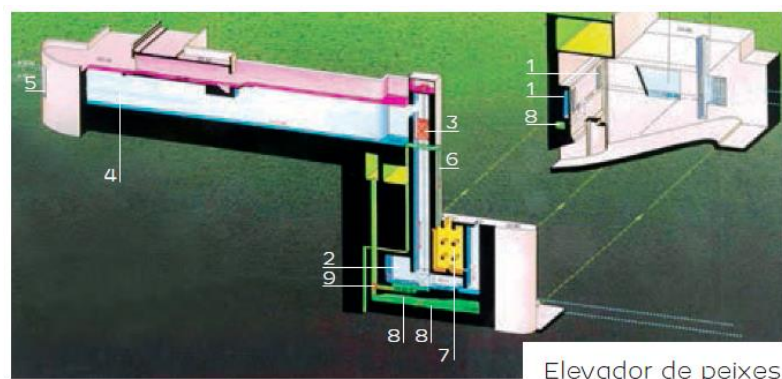
A existência de dispositivos de transposição de peixes numa barragem, tem o objetivo de tentar minimizar o impacto ambiental negativo criado pela barragem, que funciona como uma barreira física, interrompendo a continuidade natural do curso de água. Esta barreira impossibilita a movimentação de espécies piscícolas, principalmente daquelas que são migratórias.

Os principais tipos de dispositivos de transposição de peixes são os seguintes: escadas, elevadores e eclusas.

Os dispositivos de transposição de peixes do tipo escada, são normalmente constituídos por uma série de tanques em desníveis, criando assim patamares e possibilitando a passagem de peixes nos dois sentidos. Um exemplo de uma barragem portuguesa com este tipo de dispositivo, é a barragem de Penide.

Os do tipo elevador, funcionam de maneira semelhante às eclusas de navegação. São constituídos por uma câmara de entrada para os peixes. Depois, através de equipamentos mecânicos ou simplesmente hidráulicos, possibilita-se a subida ou descida dos peixes por uma conduta vertical (figura 3.28). A barragem de Touvedo possui este tipo de dispositivo.





- |  |  |
|--|--|
| 1 – Entradas no dispositivo              | 6 – Conduta de alimentação gravítica     |
| 2 – Canal coletor (ou de atração)        | 7 – Câmara de dissipação de energia      |
| 3 – Elevador (cuba)                      | 8 – Circuito de alimentação por bombagem |
| 4 – Canal superior (ligação à albufeira) | 9 – Bomba submersa                       |
| 5 – Saída para a albufeira               |  |

Fig.3.28 – Elevador de peixes da barragem de Touvedo (EDP Produção 2013a)

Os dispositivos do tipo eclusa funcionam de modo análogo às eclusas de navegação (figura 3.28). As barragens de Pocinho e Valeira possuem dispositivos de transposição de peixes do tipo eclusa.

### 3.7.3. ÓRGÃOS DE CAUDAL ECOLÓGICO

Devido às novas exigências ambientais, tornou-se impensável a construção de uma barragem sem que se garantam condições para a continuidade do escoamento a jusante da mesma.

É necessário, então, a implementação de dispositivos que deixem escoar, sem interrupções, para o leito primitivo a jusante, uma quantidade mínima de água, preservando, assim, os ecossistemas já existentes no rio e nas suas margens.

Existem diversas maneiras de se garantir a libertação de caudal ecológico. Este caudal pode ser libertado, por exemplo, pelo dispositivo de transposição de peixes do tipo escada ou através da regulação dos dispositivos de obturação da descarga de fundo. Uma vez que a ordem de grandeza do caudal ecológico é pequena, normalmente entre 1 e 10  $m^3/s$ , torna-se difícil regular as descargas de fundo para valores tão baixos. Por isso, é usual existir um dispositivo de descarga auxiliar, funcionando como um “by-pass” de pequenas dimensões da descarga de fundo.

Como a captação de água através da descarga de fundo, se realiza no fundo da albufeira, a qualidade da água, nesses casos, não é assegurada. Atualmente procura-se fazer a captação da água para o caudal ecológico, a um nível superior, pois, quanto mais próximo da superfície este se encontrar, melhor qualidade terá a água.



# 4

## LEGISLAÇÃO PORTUGUESA DE SEGURANÇA DE BARRAGENS

### 4.1. INTRODUÇÃO

As barragens são necessárias para uma adequada gestão das águas principalmente para o abastecimento, produção de energia, navegação e turismo. No entanto, a construção e exploração das barragens podem envolver danos potenciais para as populações, bens materiais e ambientais nas proximidades, pelo que é indispensável controlar a sua segurança através de medidas adequadas de projeto, construção, exploração, observação e inspeção.

A legislação portuguesa, neste âmbito, é composta por Regulamentos e Normas oficiais publicadas no Diário da República sob a forma de anexos, Decretos-Lei e Portarias.

Os primeiros regulamentos relativos a segurança de barragens surgiram em Portugal apenas na segunda metade do século XX.

O Regulamento de Pequenas Barragens de Terra, publicado em forma de Decreto-Lei, em 1968, constituiu a primeira peça legislativa relativa à segurança de barragens em Portugal, tendo-se revelado de muita utilidade devido ao grande número de barragens desse tipo que foram construídas, principalmente com a finalidade de rega. Em 1993, este Regulamento foi substituído pelo Regulamento de Pequenas Barragens (RPB).

Em 1990, na sequência de um trabalho de alguns anos, no âmbito de uma Comissão do Conselho Superior de Obras Públicas e Transportes, foi publicado o Regulamento de Segurança de Barragens (RSB), aplicável às barragens não abrangidas pelo RPB.

À publicação do RSB e por forma a permitir a sua boa execução, seguiu-se a das Normas de Projeto, de Construção e de Observação e Inspeção. Encontra-se ainda em falta a publicação das Normas de Exploração de Barragens.

Posteriormente, em 2007, foi publicado o novo Regulamento de Segurança de Barragens, revogando o anterior, de 1990.

No quadro seguinte consta a legislação portuguesa em vigor.

Quadro 4.1 – Legislação portuguesa em vigor. Adaptado de (Almeida, Gomes e Cordeiro 2001)

Diploma	Publicação	Entrada em Vigor
Regulamento de Segurança de Barragens	Decreto-Lei 344/07, de 15 Out.	15 de Janeiro de 2008
Normas de Construção de Barragens	Portaria 246/98, de 21 Abr.	26 de Abril de 1998
Regulamento de Pequenas Barragens	Decreto-Lei 409/93, de 14 Dez.	14 de Maio de 1994
Normas de Projeto de Barragens	Portaria 846/93, de 10 Set.	15 de Setembro de 1993
Normas de Observação e Inspeção de Barragens	Portaria 847/93, de 10 Set.	15 de Setembro de 1993

## 4.2. DEFINIÇÕES

Seguidamente é apresentado um conjunto de definições com vista ao melhor entendimento das questões regulamentares.

O artigo 4º do RSB, Decreto-Lei 344/07 de 15 Outubro, apresenta as seguintes definições:

- Barragem – conjunto formado pela estrutura de retenção, fundação e toda a zona vizinha, quer a jusante quer a montante (albufeira) e pelos órgãos de segurança e exploração;
- Controlo de segurança – conjunto de medidas a tomar nas várias fases de vida da obra, contemplando aspetos estruturais, hidráulico-operacionais e ambientais, com vista a assegurar as suas condições de segurança e que, nas fases de primeiro enchimento e de exploração, deve permitir um conhecimento adequado e continuado do estado da barragem, a deteção oportuna de eventuais anomalias e uma intervenção eficaz sempre que necessário;
- Critérios de dimensionamento – os princípios relativos à segurança, funcionalidade, durabilidade e economia que orientam o dimensionamento da obra;
- Danos potenciais – as consequências de um acidente independentemente da sua probabilidade de ocorrência, as quais podem ser graduadas de acordo com as vidas humanas, bens e ambiente afetados;
- Esvaziamento rápido da albufeira – o esvaziamento da albufeira a uma velocidade tal que pode pôr em causa as condições de segurança da barragem;
- Onda de inundação – a onda de cheia resultante de um acidente que pode provocar perdas de vidas humanas, bens e ambiente;
- Primeiro enchimento – a fase da vida da obra durante a qual o nível da água na albufeira sobe pela primeira vez até ao nível máximo de exploração e em que deve ser verificada a normalidade do comportamento da barragem e a fiabilidade dos equipamentos;



- Segurança (de uma barragem) – capacidade da barragem para satisfazer as exigências de comportamento relativas a aspetos estruturais, hidráulico-operacionais e ambientais, de modo a evitar a ocorrência de acidentes e incidentes ou minorar as suas consequências ao longo da vida da obra;
- Segurança ambiental – a capacidade da barragem para satisfazer as exigências de comportamento relativas à limitação de incidências prejudiciais sobre o ambiente, no que respeita designadamente à qualidade das águas, ao assoreamento da albufeira, evolução do leito a jusante e alteração dos níveis freáticos, e aspetos ecológicos, climáticos, paisagísticos, histórico-culturais e arqueológicos;
- Segurança estrutural – a capacidade da barragem para satisfazer as exigências de comportamento estrutural perante as ações e outras influências, associadas à construção e exploração e a ocorrências excecionais;
- Segurança hidráulico-operacional – a capacidade da barragem para satisfazer as exigências de comportamento hidráulico-operacional dos órgãos de segurança e exploração, incluindo os respetivos equipamentos;
- Sistema de alerta – o conjunto organizado de recursos humanos e meios técnicos que tem por funções informar os serviços e agentes de proteção civil face à iminência, ocorrência ou evolução de uma situação de emergência;
- Sistema de aviso – o conjunto organizado de recursos humanos e meios técnicos que tem por função informar a população da área eventualmente afetada da iminência, ocorrência ou evolução de uma situação de emergência;
- Sistema de observação – o conjunto de dispositivos para observação da barragem;
- Vida da obra – o período durante o qual a existência da barragem implica risco e que abrange as fases que vão desde a construção ao abandono e demolição.

### **4.3. REGULAMENTO DE PEQUENAS BARRAGENS (RPB)**

O regulamento de pequenas barragens é constituído por oito capítulos:

- Capítulo I – Generalidades;
- Capítulo II – Reconhecimento da fundação e da albufeira;
- Capítulo III – Materiais de construção;
- Capítulo IV – Projeto;
- Capítulo V – Construção;
- Capítulo VI – Exploração;
- Capítulo VII – Observação das obras;
- Capítulo VIII – Disposições finais.

#### **4.3.1. ÂMBITO DE APLICAÇÃO**

O Regulamento de Pequenas Barragens é aplicável ao projeto, construção, exploração e observação de barragens com altura igual ou inferior a 15 metros, medidos desde a parte mais baixa da fundação até ao coroamento, e com capacidade de armazenamento da albufeira menor do que  $100\,000\,m^3$ , com exceção das barragens de classe I (com maiores danos potenciais a elas associadas), conforme consta no nº 2 do artigo 2º do Regulamento de Segurança de Barragens em vigor.

As barragens de altura inferior a 8 metros podem ser dispensadas do cumprimento deste Regulamento sempre que a autoridade achar pertinente. A autoridade responsável na altura da publicação do

Regulamento era o agora extinto INAG (Instituto Nacional da Água), que foi substituído pela APA (Agência Portuguesa do Ambiente).

#### 4.3.2. RESPONSABILIDADE TÉCNICA

Segundo o artigo 2º, os projetos devem ser elaborados por técnicos com qualificação reconhecida pela APA, antigo INAG. A construção deve ser dirigida por técnico com as qualificações também reconhecidas pela APA.

A exploração é da responsabilidade do dono de obra perante a APA.

#### 4.3.3. DISPOSIÇÕES RELATIVAS AO PROJETO

O RPB define as regras a que se deve obedecer na elaboração dos projetos que têm de ser submetidos a aprovação pela autoridade (APA). Ao contrário do RSB, que tem como complemento normas referentes ao projeto, construção, exploração e observação, o RPB sintetiza estas normas, de uma forma muito mais simplificada.

Salienta-se, no RPB, a obrigatoriedade do cumprimento das seguintes disposições regulamentares para a elaboração de projetos:

- Estudo do maciço de fundação com base em trabalhos de reconhecimento *in situ* que permitam recolher informação sobre as características geológicas e geotécnicas do local (artigo 5º);
- Estudos relativos à albufeira com vista à análise de características que possam influenciar a sua estanquidade e estabilidade das encostas; deve ainda ser apresentado um estudo de impacte ambiental (artigo 6º);
- Estudos dos materiais de construção a utilizar em obra, mencionando a origem dos mesmos, quer se trate de barragem de betão, enrocamento ou de terra (capítulo III);
- Critério a seguir na realização das fundações, quer para determinação da profundidade definitiva da fundação, quer no que respeita aos aspetos hidráulicos, nomeadamente ao estudo da estabilidade hidráulica da fundação, granulometria dos materiais constituintes do maciço, definição dos dispositivos de controlo de pressão de água na fundação e quantificação dos valores dos caudais percolados através da fundação e dimensionamento de dispositivos a adotar para redução desses caudais (artigo 9º);
- Estudo do caudal de projeto dos descarregadores de cheia, podendo, segundo o artigo 10º, ser adotado um período de retorno de 100 anos para barragens em que o risco potencial é baixo. No caso do risco potencial ser elevado ou significativo deve-se aplicar o disposto no RSB. Em relação à conceção dos descarregadores de cheias, o RPB estipula que, em barragens de aterro, os descarregadores não devem ficar situados no corpo da barragem e não é recomendável a adoção de comportas, mas antes um controle por soleira livre;
- A fixação de folga deve ser feita de acordo com as características da barragem, devendo, no caso de barragens de aterro, ser de valor igual ou superior a 1 metro (artigo 11º);
- A largura do coroamento deve ser justificada em função da altura e da importância da barragem, não devendo, no caso de barragens de aterro, ser inferior a 3 metros (artigo 12º);

- Em relação à tomada de água e descarga de fundo, estas devem cumprir um diâmetro mínimo de 0,70 metros, ser munidas de grades de proteção, e de comportas a montante, em cada circuito hidráulico. No caso de as condutas atravessarem o corpo da barragem de aterro, devem ser tomadas medidas que previnam assentamentos diferenciais e deve indicar-se meios a adotar para o controlo de eventuais infiltrações ao longo do contacto com as condutas (artigo 13º);
- Exigências para o dimensionamento da estrutura para os diferentes tipos de barragem, considerando questões relativas à estanquidade, estabilidade, deslizamento de taludes e coeficientes mínimos de segurança (artigo 14º);
- Obrigatoriedade de colocação de filtros nas transições de aterro para o revestimento do paramento de montante e para os dispositivos drenantes (artigo 15º);
- Características dos revestimentos dos paramentos de montante para proteger o paramento das ações das vagas, chuva e da ação das descargas dos órgãos de segurança e exploração (artigo 16º);

#### 4.3.4. DISPOSIÇÕES RELATIVAS À CONSTRUÇÃO

O RPB refere no capítulo V regras/ normas relativas à construção de barragens. Incide nos seguintes aspetos: saneamento das fundações (artigo 17º), compactação dos aterros (artigo 18º), fabrico e colocação do betão (artigo 19º) e, por fim, no artigo 20º relativo ao controlo da construção, as exigências regulamentares no controlo do grau de compactação.

#### 4.3.5. DISPOSIÇÕES RELATIVAS À EXPLORAÇÃO

No que respeita às normas de exploração, o RPB trata-as em 3 artigos: o primeiro destinado à operação dos órgãos de segurança e exploração (artigo 21º), que deve ser efetuado de acordo com as normas próprias definidas em projeto, conforme as características de cada aproveitamento. Devem ser instalados dispositivos que forneçam informação fiável sobre os níveis da água a montante e a jusante da barragem e sobre o funcionamento dos órgãos de segurança e exploração. O artigo 22º “Conservação das obras e equipamentos” incide na importância das ações de conservação, a desenvolver periodicamente com o fim de evitar a deterioração dos respetivos equipamentos e das estruturas. O artigo 23º incide nos aspetos ambientais, nomeadamente na conservação da qualidade da água, obrigando o dono de obra a proceder a análises periódicas, estabilidade das margens, operações de desassoreamento e remoção de matéria orgânica.

#### 4.3.6. DISPOSIÇÕES RELATIVAS À OBSERVAÇÃO DAS OBRAS

O RPB, tal como o RSB, dá especial importância à fase do primeiro enchimento, pois é, nesta fase, que se vai pôr à prova o funcionamento da barragem. O RPB dá especial atenção ao aparecimento de fendas, infiltrações, ressurgências e deformações significativas (artigo 24º). Após a realização de um relatório pelo técnico responsável pela construção, a APA deve proceder à vistoria da obra, declarando que a obra tem ou não condições de exploração (artigo 24º). Também são necessárias, segundo o artigo 25º, observações durante a fase de exploração, cabendo à APA vistoriar as barragens e impor medidas a tomar pelo dono de obra, se necessário, assim como a imposição de prazos para o seu cumprimento.

#### **4.4. REGULAMENTO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS (RSB)**

##### **4.4.1. ENQUADRAMENTO**

O primeiro Regulamento de Segurança de Barragens (RSB) foi publicado no diário da República de 6 de Janeiro de 1990, em anexo ao Decreto-Lei 11/90. Até então apenas havia a regulamentação específica para pequenas barragens de terra.

De acordo com o artigo 49º do RSB anexo ao Decreto-Lei 11/90, o presente Regulamento teria de ser revisto cinco anos após a sua entrada em vigor; como o Regulamento entrou em vigor em 6 de Junho de 1990, a sua primeira revisão teria de ser realizada em 1995, o que não aconteceu. A revisão apenas acabou por ser feita em 2007, ano em que entrou em vigor o novo RSB. A justificação para tal atraso foi dada na memória descritiva do novo Regulamento: “O Regulamento de Segurança de Barragens prevê a respetiva revisão no prazo de cinco anos após a sua entrada em vigor. No entanto, à data, a experiência de aplicação do regime estabelecido... foi considerada insuficiente pelas entidades competentes, tendo-se, então, decidido prolongar aquele prazo.”

Apesar de atrasado, está em vigor desde 2008 um novo Regulamento de Segurança de Barragens, Decreto-Lei 344/07, de 15 Outubro.

Em Portugal, existem cerca de 600 barragens abrangidas pelo RSB ([www.proteccaocivil.pt](http://www.proteccaocivil.pt)).

##### **4.4.2. ATUALIZAÇÃO DO REGULAMENTO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS**

Na revisão efetuada, foram mantidas as entidades envolvidas na aplicação do Regulamento, e de um modo geral também o foram as atividades de controlo de segurança até aqui desenvolvidas desde a saída do primeiro RSB.

Um dos objetivos desta revisão, foi procurar melhorar a eficácia e simplificação dos procedimentos de modo a facilitar a aplicação do Regulamento ao longo da vida das obras, quer para o dono de obra quer para as restantes entidades envolvidas. Procurou-se também articular convenientemente as intervenções destas diferentes entidades, tendo em vista facilitar a cooperação entre elas e a maximização das suas capacidades.

Foi também efetuada uma graduação das exigências de controlo de segurança e de proteção civil de algumas disposições regulamentares, em função da gravidade dos danos potenciais associados à construção e exploração de barragens. Considerou-se, assim, que algumas disposições relativas ao controlo de segurança, nas fases de projeto, construção, e exploração podem ser menos exigentes no caso de obras a que se associem danos potenciais de menor grau, e que as intervenções das entidades competentes, pelas medidas de proteção civil e do LNEC no controlo de segurança, deverão apenas limitar-se às barragens a que se associem danos potenciais elevados.

Continuou a atribuir-se grande importância ao controlo de segurança das barragens nos aspetos estruturais, hidráulico-operacionais e ambientais, tendo em vista a deteção precoce de processos de deterioração que resultem numa rápida resolução.

As principais evoluções na revisão do RSB, que culminaram na edição de um novo Regulamento, foram as seguintes:

- Classificação das barragens em três classes, em função dos danos potenciais;
- Simplificação do controlo de segurança para as barragens em função da sua classe;
- Simplificação das exigências em relação aos equipamentos de descarga de fundo para barragens com menor risco potencial;
- Alteração das despesas suportadas pelo dono de obra originadas pelo controlo de segurança;
- Obrigatoriedade de adaptação do plano de observação após execução da obra e obrigatoriedade de o plano de observação revisto constar já no projeto;
- Introdução da obrigatoriedade de elaboração de regras de exploração da barragem;
- Maior ênfase no controlo de segurança ambiental;
- Aprofundamento das Medidas de Proteção Civil;
- Introdução da definição dos Planos de Emergência.

De salientar que a alteração mais relevante foi a classificação das barragens em três classes, em função dos danos potenciais.

#### 4.4.3. ÂMBITO DE APLICAÇÃO

São abrangidas pelo RSB as denominadas grandes barragens (altura igual ou superior a 15 metros, ou barragens de altura igual ou superior a 10 metros cuja albufeira tenha capacidade de armazenamento superior a 1 milhão de metros cúbicos), como também aquelas que tenham altura inferior a 15 metros cuja albufeira encaixe mais de cem mil metros cúbicos de água. São ainda abrangidas outras barragens que não estejam incluídas na definição anterior, mas que, em resultado da aprovação de estudos de avaliação de segurança sejam incluídas na classe I.

De acordo com o anexo do RSB de 2007, as barragens classificam-se em função dos danos potenciais associados à onda de inundação correspondente ao cenário de acidente mais desfavorável, a rutura. Esses danos potenciais devem ser avaliados tendo em conta a região do vale a jusante da barragem, onde a onda de inundação possa afetar a população, bens e o ambiente. A delimitação da área abrangida pela onda de inundação deve ser obtida por aplicação de modelos hidrodinâmicos ao estudo da onda de cheia. No caso de barragens com menor risco potencial (classe II ou III) esse estudo pode ser aligeirado, podendo ser utilizados modelos simplificados ou fórmulas empíricas.

A classe da barragem é então definida em termos de ocupação humana, bens e ambiente afetado pela onda de inundação no vale a jusante da barragem, em três classes por ordem decrescente de gravidade, classificando-se de acordo com o quadro seguinte.

Quadro 4.2 – Classificação das barragens em função dos danos potenciais (RSB 2007)

Classe	Ocupação humana, bens e ambiente
I	Residentes em número igual ou superior a 25
II	Residentes em número inferior a 25; ou Infra-estruturas e instalações importantes ou bens ambientais de grande valor e dificilmente recuperáveis ou existência de instalações de produção ou de armazenamento de substâncias perigosas
III	As restantes barragens

#### 4.4.4. ENTIDADES ENVOLVIDAS NA SEGURANÇA

O controlo de segurança das barragens é exercido em todas as fases da vida da obra. Esse controlo fica a cargo das entidades de Administração Pública, da Comissão de Segurança de Barragens e do dono de obra.

As entidades de Administração Pública envolvidas são as seguintes:

- Agência Portuguesa do Ambiente (APA), ex- Instituto da Água (INAG), que representa a Autoridade Nacional de Segurança de Barragens, designada no Regulamento apenas por (Autoridade);
- Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), na qualidade de consultor da Autoridade;
- Autoridade Nacional de Proteção Civil (ANPC), como entidade orientadora e coordenadora das atividades de proteção civil ao nível nacional.

A Comissão de Segurança de Barragens (CSB) é constituída por representantes de várias entidades (professores universitários, representantes do Governo, representantes das entidades de administração pública) estipuladas no artigo 9º do RSB. Esta comissão funciona junto da Autoridade Nacional de Segurança de Barragens.

O dono de obra é a entidade responsável pela obra perante a Autoridade, para efeito de cumprimento das imposições regulamentares.

##### 4.4.4.1. Principais competências da Autoridade Nacional de Segurança de Barragens

Compete à Autoridade promover e fiscalizar o cumprimento do Regulamento, no que respeita ao controlo de segurança.

De acordo com o artigo 6º, é da competência da Autoridade:

- Promover a intervenção do LNEC no âmbito das suas competências;
- Colaborar com a ANPC no planeamento e acompanhamento em situações de emergência;
- Garantir a qualidade da obra com a realização de ensaios e estudos, bem como a segurança de pessoas e bens;
- Agir, em caso de incumprimento de disposições regulamentares por parte do dono de obra;
- Aprovar os projetos das barragens do ponto de vista do cumprimento regulamentar;
- Realizar inspeções e verificação dos trabalhos, sempre que considerar pertinente;
- Fazer cumprir o plano de primeiro enchimento;

##### 4.4.4.2. Principais competências do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC)

O LNEC tem, como principais obrigações, em todas as barragens classificadas de classe I, realizar as seguintes intervenções:

- Rever o plano de observação na fase de elaboração do projeto, na fase de primeiro enchimento, ou enchimento após esvaziamento prolongado;
- Promover a constituição de um arquivo informático das leituras efetuadas pelos sistemas de observação de barragens, de modo a manter atualizado o seu estado;

- Acompanhar o comportamento das barragens ao longo da vida das obras e proceder à realização de relatórios durante e no final do primeiro enchimento;
- Efetuar inspeções e elaborar pareceres, em caso de ocorrências excepcionais ou circunstâncias anómalas.

A Autoridade pode também solicitar a intervenção do LNEC para outras barragens que não da classe I, caso considere necessário. Fica também a cargo do LNEC a realização dos estudos e ensaios no âmbito do controlo de segurança de barragens, quando solicitados pela Autoridade. O dono de obra também pode pedir ao LNEC a elaboração, adaptação ou atualização do plano de observação de primeiro enchimento.

#### 4.4.4.3. Principais competências da Autoridade Nacional de Proteção Civil (ANPC)

A intervenção da Autoridade de Proteção Civil, segundo o Regulamento, só é necessária para as barragens que acarretam maior risco potencial de acidente (classe I). Para estas, as competências da ANPC traduzem-se nos seguintes aspetos:

- Emitir parecer sobre o plano de emergência interno, nomeadamente nos aspetos que se articulem com o plano de emergência externo e os sistemas de aviso e alerta;
- Promover a elaboração do plano de emergência externo, a ser aprovado pela Comissão Nacional de Proteção Civil (CNPC);

Cabe, portanto, a esta autoridade assegurar o plano de emergência e coordenar as ações de socorro.

#### 4.4.4.4. Principais competências da Comissão de Segurança de Barragens (CSB)

A CSB deve, obrigatoriamente, pronunciar-se sobre normas a aprovar pelo Governo relativas a segurança de barragens, sobre assuntos relativos a segurança de barragens que sejam submetidos pela Autoridade ou pelo Governo, no caso de ocorrências excepcionais. Deve analisar a situação das barragens portuguesas do ponto de vista da segurança e recomendar ao Governo e à Autoridade a adoção de medidas para salvaguarda da segurança. No cumprimento deste último ponto, a CSB deve reunir-se pelo menos, uma vez por ano.

#### 4.4.4.5. Principais competências do dono de obra

O papel que o dono de obra desempenha é crucial para a obtenção de um bom funcionamento da barragem, em condições de segurança. Tem obrigações e deveres em todas as fases de vida obra.

Na fase de projeto, o dono de obra terá de promover a elaboração do projeto e de todos os estudos de apoio necessários.

Na fase de construção cabe ao dono de obra, essencialmente:

- Comunicar à Autoridade todos os dados relativos à obra, data de início, diretor técnico, responsável pela obra, etc;
- Comunicar ao LNEC as operações relativas à observação das barragens de classe I;
- Promover o cumprimento do plano de observação e constituição de um arquivo dos dados obtidos;
- Organizar e manter atualizado o livro técnico da obra e o arquivo técnico de construção;

- Submeter à aprovação da Autoridade as regras de exploração da barragem e designação do técnico responsável pela exploração;
- Promover o plano de primeiro enchimento e comunicar à Autoridade e ao serviço de proteção civil a data prevista para o início do enchimento da albufeira;

Na fase de primeiro enchimento cabe ao dono de obra:

- Garantir o cumprimento do plano de primeiro enchimento;
- Comunicar eventuais alterações à Autoridade e aos serviços de proteção civil;
- Enviar ao LNEC os dados relativos ao sistema de observação, imediatamente após a sua obtenção, para as barragens de classe I;
- Manter atualizado o arquivo dos dados obtidos pelo sistema de observação e o livro técnico de obra;
- Promover a revisão das regras de exploração, sempre que tal seja determinado pela Autoridade na sequência da inspeção após o primeiro enchimento.

Na fase de exploração, cabe ao dono de obra:

- Efetuar a exploração de acordo com as regras de exploração aprovadas pela Autoridade;
- Submeter à Autoridade os projetos de alteração ou ampliação e de reparações e proceder à sua execução;
- Manter atualizado o arquivo dos dados obtidos pelo sistema de observação, o livro técnico, o arquivo técnico, o plano de emergência.

Na fase de abandono ou demolição, cabe ao dono de obra submeter o respetivo projeto à aprovação da Autoridade e proceder à sua execução.

Cabe ainda ao dono de obra suportar todas as despesas originadas pelo controlo de segurança, medidas de proteção civil e ainda por outras medidas consideradas necessárias pela Autoridade.

#### 4.4.5. ESTRUTURA DO REGULAMENTO

O regulamento de Segurança de Barragens é constituído por quatro capítulos:

- Capítulo I - Disposições gerais;
- Capítulo II - Controlo de Segurança;
- Capítulo III - Medidas de Proteção civil;
- Capítulo IV - Disposições Complementares e Transitórias.

Faz parte também do Regulamento um anexo que contempla as regras para a classificação das barragens em função dos danos potenciais.

##### 4.4.5.1 Disposições gerais

Neste 1º capítulo, indica-se o objetivo do Regulamento, especificando o seu âmbito de aplicação. Apresentam-se algumas definições e a estrutura de base da organização do controlo de segurança. Enumeram-se também os organismos envolvidos no controlo de segurança, e a composição da Comissão de Segurança de Barragens (CSB) e definem-se as suas competências. Referem-se ainda as obrigações do dono de obra e faz-se referência à forma de apuramento de responsabilidade.



#### 4.4.5.2 Controlo de segurança

O capítulo destinado ao controlo de segurança é o capítulo central deste Regulamento. É subdividido em seis secções, abrangendo todo o ciclo de vida de uma barragem:

- Secção I – Controlo de segurança na fase de projeto;
- Secção II – Plano de Observação;
- Secção III – Controlo de segurança na fase de construção;
- Secção IV – Controlo de segurança durante o primeiro enchimento;
- Secção V – Controlo de segurança durante a fase de exploração;
- Secção VI – Controlo de segurança na fase de abandono e demolição.

Na fase de projeto, primeiramente chama-se a atenção para alguns aspetos gerais. De seguida, o Regulamento define as principais peças que devem ser incluídas no projeto, fazendo referência específica, no âmbito da segurança hidráulico-operacional, ao estudo dos danos potenciais induzidos pela construção e exploração da barragem (o qual deverá fundamentar a classe a atribuir à obra), ao dimensionamento dos órgãos de segurança e exploração e às regras de exploração da barragem e utilização dos órgãos de segurança.

Relativamente ao dimensionamento dos órgãos de segurança e exploração, o RSB exige, de acordo com o artigo 15º, que sejam considerados os seguintes aspetos:

- Cheias de projeto e verificação nas fases de construção e de exploração, tendo em conta os danos de exploração exigidos pelas barragens e considerando eventual existência de barragens a montante e a jusante;
- Os dispositivos necessários para a dissipação de energia dos caudais descarregados sem prejuízo para a barragem e outras obras que possam ser afetadas;
- Os descarregadores de cheias devem ser aptos a escoar a cheia de projeto sem auxílio de outros órgãos;
- As comportas dos descarregadores de cheias devem poder ser manobradas localmente e à distância mediante energia elétrica ou hidráulica procedendo de duas origens distintas além de poderem ser acionadas manualmente quando a sua dimensão o permita;
- As descargas de fundo devem permitir o esvaziamento da albufeira e ser equipadas com duas comportas de características idênticas às descritas no item anterior, uma funcionando como segurança e outra destinada ao serviço normal da exploração;
- Deve ser calculado o tempo necessário para o esvaziamento da albufeira;

O Regulamento dedica a secção II à observação do comportamento da barragem, uma vez que se considera essencial para o controlo de segurança. Na elaboração dos planos de observação devem definir-se os objetivos essenciais, dá-se importância à questão da adaptação do plano em relação à data do primeiro enchimento, e referem-se circunstâncias em que deve ser revisto e atualizado.

Na fase de construção, são estabelecidos critérios gerais a que o controlo de segurança, nesta fase da obra, deve obedecer. Obriga à existência de um livro técnico de obra e é dado especial destaque às ações a desenvolver com vista ao controlo de segurança estrutural e à realização de inspeção aos trabalhos com vista à antecipada deteção de irregularidades. Está também presente a obrigatoriedade de o dono de obra constituir e manter atualizado e à disposição das autoridades um arquivo técnico, constituído por uma série de elementos listados no artigo 26º.

A fase de primeiro enchimento é hoje considerada como “a fase mais crítica da vida da obra do ponto de vista da segurança” (Gomes 2000), pois é nesta que atuam pela primeira vez as principais ações para as quais a barragem foi projetada. Nesta secção, o Regulamento estabelece a obrigatoriedade de

uma inspeção prévia ao primeiro enchimento, de um plano de primeiro enchimento da albufeira, destinado ao controlo de segurança e a metodologia deste. Obriga também a uma inspeção após o primeiro enchimento, com o objetivo de verificar o estado da obra e dos equipamentos, o que contribuirá para as decisões que serão tomadas relativamente à exploração.

A fase de exploração é a fase durante a qual a barragem vai desempenhar as funções para que foi concebida. Durante esta fase, o dono de obra deve garantir o cumprimento das regras de exploração e das atividades de controlo e segurança da barragem. No que diz respeito ao controlo da segurança hidráulico-operacional este será realizado por inspeções e por aplicação das regras de exploração da barragem, relativas à operação dos equipamentos dos órgãos de segurança e exploração, às medidas de manutenção e conservação necessárias, bem como à verificação e eventual revisão dos critérios de projeto.

A segurança de barragens pode portanto ser posta em causa, nas referidas cinco fases de vida de uma barragem: projeto, construção, primeiro enchimento, exploração e abandono e demolição.

Um dos aspetos que mais contribui para a segurança de uma barragem, é a correta operacionalidade dos órgãos de segurança hidráulica, ou seja, o descarregador de cheias e a descarga de fundo.

É, assim, necessário durante a fase de exploração, proceder a ensaios dos descarregadores, com a finalidade de detetar eventuais anomalias de funcionamento. As possíveis anomalias podem ter origem na própria má conceção inicial do descarregador ou por deteriorações ocorridas ao longo da vida da obra.

O artigo 40º “Inspeções na fase de exploração”, enuncia os objetivos dessas inspeções a realizar pela Autoridade e se possível com a presença do técnico responsável pela exploração, sendo nomeadamente:

- Inspeções visuais à barragem e zonas que possam ser afetadas pela exploração;
- Verificação das condições de manutenção e operacionalidade dos órgãos de segurança e exploração.

No final de cada inspeção deverá ser elaborado um documento a constar no livro técnico da obra.

Os principais problemas hidráulicos que podem ocorrer nos descarregadores de cheias, são (Gomes et al. 2001):

- Separação do escoamento;
- Formação de vórtices;
- Ondulação anómala ao longo do descarregador;
- Vibrações induzidas em estruturas e equipamentos;
- Funcionamento hidráulico das estruturas de dissipação de energia diferente do previsto no projeto;
- Projeções de água não aceitáveis, quer ao longo do canal, quer na estrutura de dissipação de energia;
- Fenómenos pneumáticos associados à libertação de bolsas de ar aprisionado;
- Erosão de cavitação;
- Abrasão;
- Subpressões não previstas no projeto;
- Erosão não prevista no leito a jusante;
- Erosão por recirculação de água a jusante do descarregador de cheias;
- Assoreamento não previsto do leito do rio.

Por sua vez e não menos importante, estão as descargas de fundo. Têm diversas finalidades, sendo o controlo de primeiro enchimento e o esvaziamento da albufeira as principais finalidades ligadas à segurança. Nas descargas de fundo, tal como nos descarregadores de cheia, deve-se proceder a ensaios durante a fase de exploração para a deteção de eventuais anomalias.

Os principais problemas hidráulicos relativos à descarga de fundo são: (Gomes et al. 2001)

- Separação do escoamento;
- Vibrações induzidas em estruturas e equipamentos;
- Funcionamento hidráulico das estruturas de dissipação de energia diferente do previsto no projeto;
- Fenómenos pneumáticos;
- Erosão de cavitação;
- Abrasão;
- Erosão não previsto no leito a jusante;
- Assoreamento não previsto do leito a jusante.

A última secção deste capítulo incide no controlo de segurança, nos casos de abandono e demolição, tornando obrigatório a elaboração do respetivo projeto, segundo as regras indicadas.

#### 4.4.5.3 Medidas de proteção civil

Como uma eventual rutura de uma barragem pode provocar grandes estragos, pondo em risco um elevado número de vidas humanas, o Regulamento preocupa-se com as medidas de proteção civil a implementar no caso de ocorrência de acidente. São referidas as zonas de intervenção, a obrigatoriedade da existência de um planeamento de emergência para as barragens de classe I, mencionando a sua constituição e necessidade de revisão e atualização. É estabelecida também a obrigatoriedade da existência de sistemas de aviso e alerta e abordados os casos de ocorrência de ações de guerra ou sabotagem.

#### 4.4.5.4 Disposições complementares e transitórias

Neste capítulo, aconselha-se a utilização das normas de projeto, construção e de observação e inspeção de barragens já aprovadas e publicadas aquando da publicação do antigo Regulamento. No ponto 2 do artigo 55º deste capítulo pode ler-se que “as normas devem ser revistas de modo a assegurar o seu total enquadramento no presente regulamento”, obrigando também, no ponto 3 do mesmo artigo, ao estabelecimento de normas de exploração de barragens que, até à data, ainda não foram publicadas.

No artigo 56º definem-se prazos para a aplicação do presente Regulamento às barragens em fase de construção, de primeiro enchimento e de exploração.

Para tal, o dono de obra deverá submeter a aprovação da Autoridade:

- Propostas da classe a atribuir à barragem em função dos danos potenciais associados;
- Avaliação da conformidade da barragem com as disposições do presente Regulamento;
- No caso da avaliação referida no ponto anterior, conduzir à identificação de não conformidade com as disposições do Regulamento, deverão ser feitas propostas de medidas corretivas, que visem um total acordo com as novas exigências.

#### **4.5. NORMAS ASSOCIADAS AO REGULAMENTO**

Como já mencionado anteriormente, as normas associadas ao Regulamento de Segurança de Barragens são as seguintes: Normas de Projeto; Normas de Construção; Normas de Observação e Inspeção de Barragens e a Norma de Exploração de Barragens (que ainda aguarda publicação). As normas mencionadas constituem o edifício legislativo necessário à boa execução do Regulamento de Segurança de Barragens. Como já referido no ponto 4.4.5.4, as normas atrás referidas, após a entrada em vigor do novo Regulamento de Segurança de Barragens, deveriam ter sido revistas, o que ainda não aconteceu. Por isso, até que seja publicada a sua revisão, continuam em vigor as existentes.

Todas as normas se aplicam às barragens abrangidas pelo RSB.

De seguida, atendendo ao facto de o âmbito do presente trabalho se focar na segurança hidráulico-operacional das barragens, são abordados os aspetos principais presentes nas várias normas.

##### **4.5.1. NORMAS DE CONSTRUÇÃO DE BARRAGENS (NCB)**

As normas de construção de barragens estabelecem os princípios gerais que devem orientar as atividades de construção, com base no projeto aprovado, de forma a garantir a sua qualidade e estabelecer ainda as atividades de construção relativas a reforço, demolição e abandono de barragens.

A presente norma é constituída pelos seguintes capítulos:

- Capítulo I – Introdução;
- Capítulo II – Normas gerais;
- Capítulo III – Normas para barragens de betão e alvenaria;
- Capítulo IV – Barragens de aterro.

O objetivo principal desta norma é indicar os princípios e critérios gerais que devem presidir à construção das barragens de forma a garantir a segurança das obras.

Esta norma, em termos de segurança, centra-se nos aspetos estruturais, uma vez que são os mais relevantes durante a fase de construção.

##### **4.5.2. NORMAS DE PROJETO DE BARRAGENS (NPB)**

Estas normas estabelecem os critérios gerais de projeto de barragens, numa perspetiva de garantir a segurança das obras com o máximo de economia possível.

A norma de projeto de barragens é constituída pelos seguintes capítulos:

- Capítulo I – Introdução;
- Capítulo II – Normas gerais;
- Capítulo III – Normas para barragens de betão;
- Capítulo IV – Normas para barragens de aterro;
- Capítulo V – Normas para os órgãos de segurança e exploração;
- Capítulo VI – Normas relativas à albufeira;

É de salientar, nas normas de projeto, o artigo 6º o capítulo II, que constitui a regulamentação em que se deve basear o projetista no que diz respeito aos estudos hidrológicos. É muito importante que sejam bem realizados, com recurso a métodos com fiabilidade comprovada. A maior parte das barragens mais antigas, devido à utilização de métodos empíricos e pouco fiáveis, em comparação com os atuais, não cumprem com as exigências regulamentares da legislação atualmente em vigor.

Os estudos hidrológicos visam obter os caudais afluentes ao aproveitamento e a probabilidade de garantia desses caudais, importante para o estudo de viabilidade económica, no caso de a barragem ser de aproveitamento de energia. Visam também obter os hidrogramas de cheia, indispensáveis para o dimensionamento dos órgãos de segurança. Permitem também calcular a curva de vazão no local da obra, o volume de sedimentos afluentes à albufeira, para fixação da capacidade morta e ainda uma aproximação da qualidade da água, tendo em vista as suas utilizações.

No número 3 do artigo 6º das NPB, enumeram-se os procedimentos a adotar para a realização dos estudos hidrológicos, dos quais se destacam os seguintes:

- No cálculo dos caudais fornecidos para a secção em estudo, deve-se recorrer à análise estatística de séries homogéneas de pelo menos 30 anos de registo de caudais integrais mensais e anuais;
- Na falta de séries de registos suficientemente longos ou na ausência de qualquer registo de caudais, deverá a informação disponível ser completada com dados deduzidos das precipitações;
- Os caudais de dimensionamento dos descarregadores devem ter em conta o amortecimento das cheias na respetiva albufeira e na albufeira a montante;
- Os períodos de retorno, a adotar no dimensionamento dos órgãos de descarga e proteção contra cheias, devem ser fixados de acordo com uma análise de risco potencial, em função da ocupação do leito a jusante da barragem e de acordo também com o tipo de descarregador e folga disponível;
- Os períodos de retorno da cheia de projeto devem ser estabelecidos de acordo com o quadro 4.3, presente no anexo das NPB;

Devem ser completados os estudos hidrológicos com:

- A avaliação da área inundada e do tempo de propagação das cheias provocadas por cenários de rutura da barragem, recorrendo a modelos hidrodinâmicos contemplados no RSB;
- O estudo de sistemas de aviso e previsão de cheias em tempo real;
- A previsão da qualidade da água na albufeira e no trecho da linha de água a jusante.

Conforme se pode verificar no quadro 4.3, sempre que o período de retorno é superior a 1000 anos, existe um intervalo de valores de período de retorno e não um único valor. Para estes casos, considera-se o valor menor para determinar a cheia de projeto e o valor maior para cheia de verificação de forma a compatibilizar com o RSB.

Tomando como exemplo uma barragem de betão, com uma altura superior a 100 metros e com um risco potencial considerado elevado o período de retorno a considerar é de 5 000 a 10 000 anos. Com a implementação do novo RSB as classes de risco já não são elevado e significativo, mas sim classes I, II e III, devendo-se, até ser publicada a atualização das normas de projeto, estabelecer uma correspondência entre a categoria considerada no RSB e a classe equivalente nas normas), o período de retorno a considerar é de 10 000 a 5 000 anos.

Quadro 4.3 – Período de retorno da cheia de projeto, em anos (NPB 1993)

Barragem		Risco Potencial	
Betão	Aterro	Elevado	Significativo
$h \geq 100$	$h \geq 50$	10 000 a 5 000	5 000 a 1 000
$50 \leq h < 100$	$15 \leq h < 50$	5 000 a 1 000	1 000
$15 \leq h < 50$	$h < 15$	1 000	1 000
$h < 15$	-	1 000	500

Relativamente à temática em análise, as NPB contemplam ainda no capítulo V as “Normas para os órgãos de segurança e exploração”. No artigo 49º ponto 2, está presente a constituição do projeto relativamente ao descarregador de cheias, em que se salientam os seguintes aspetos:

- Justificação da solução adotada em função do tipo de barragem, condições hidrológicas, topográficas, geológicas, sismológicas e geotécnicas do local, dos caudais a descarregar e dos condicionamentos impostos a esses caudais e à sua restituição a jusante;
- Os critérios de dimensionamento hidráulico do descarregador, podendo ter-se em conta os procedimentos seguintes: dispor de uma reserva adicional do volume da albufeira para encaixar parte da cheia; atender aos condicionamentos do nível máximo permitido na albufeira; ter em conta o risco de sucessão de cheias em intervalos pequenos; prever a existência de descarregadores fusível sempre que as condições topográficas e geotécnicas o permitirem;
- Garantia e justificação de que não se produzirão, em caso algum, erosões e vibrações que ponham em risco a estabilidade da obra;
- Descrição e justificação das soluções adotadas nos órgãos de obturação;
- Soluções para obturação de emergência, reparações, manutenção e inspeção de rotina.

O artigo 50º do mesmo capítulo, enumera, à semelhança do que ocorre para os descarregadores de cheias, os elementos que devem constar no projeto das descargas de fundo, nomeadamente:

- Justificação do número de descarregadores a utilizar, localização e dimensionamento de acordo com o tipo de obra, dos caudais descarregados e das condições topográficas, geológicas, sismológicas e geotécnicas do local;
- Critérios e modelos utilizados no dimensionamento hidráulico e estrutural das descargas de fundo;
- Descrição dos órgãos de obturação e regulação e justificação das soluções adotadas;
- Soluções para obturação de emergência, reparações, manutenção e inspeção de rotina.

#### 4.5.3. NORMAS DE OBSERVAÇÃO E INSPEÇÃO DE BARRAGENS (NOIB)

As normas de observação e inspeção de barragens têm como objetivo controlar as atividades de modo a permitir a aferição dos critérios de projeto e a avaliação das condições de segurança, ao longo da vida da obra.

São constituídas pelos seguintes capítulos:

- Capítulo I – Introdução;
- Capítulo II – Organização das atividades de observação e inspeção;
- Capítulo III – Fase de projeto;
- Capítulo IV – Plano de observação;
- Capítulo V – Fase de construção;
- Capítulo VI – Fase de primeiro enchimento;
- Capítulo VII – Fase de exploração;
- Capítulo VIII – Fase de abandono e demolição;
- Capítulo IX – Disposições transitórias relativas às obras existentes.

O sistema de observação a instalar numa barragem pode ser considerado como um elemento essencial ao projeto, uma vez que tais sistemas ajudam a monitorizar o estado das obras e consequente antecipação de um possível acidente.

A observação e inspeção deve desenvolver-se ao longo da vida das obras e compreende a realização de diversas atividades, designadamente:

- Planeamento;
- Inspeção visual das obras;
- Instalação, manutenção e exploração de um sistema de observação, constituído por instrumentos e dispositivos de medida de grandezas, realizando o controlo relativo às ações e às respostas das estruturas e equipamentos;
- Armazenamento e interpretação da informação recolhida.

O plano de observação presente no capítulo IV das NOIB, deve prever a execução dos seguintes tipos de inspeção visual:

- Inspeção visual de rotina – função dos responsáveis pela observação do comportamento da barragem, a efetuar com uma frequência mínima adequada às fases da vida da obra e à sua importância;
- Inspeção visual de especialidade – função dos responsáveis pela elaboração dos relatórios de comportamento da barragem (agentes com nível de responsabilidade superior), a efetuar por forma a ter também em conta o comportamento hidráulico e estrutural e a evolução das propriedades dos materiais, a desenvolver com menor periodicidade;
- Inspeção visual com carácter excecional – a cargo dos responsáveis atrás referidos e do LNEC, a realizar após ocorrências anormais, tais como grandes cheias, esvaziamentos significativos da albufeira e sismos importantes.

As inspeções são depois realizadas após construção, após o primeiro enchimento, e durante a fase de exploração.

Terminada a construção, procede-se à inspeção visual, que compreende inspeções cuidadas nas várias zonas da obra por forma a identificar anomalias relativas a:

- Possibilidade de obstrução dos órgãos de segurança;
- Fissuração das peças estruturais;
- Deformação excessiva e sua evolução no tempo;
- Defeito nas juntas;
- Vestígios de corrosão nas armaduras, deterioração ou descasques do betão;
- Erosão devido a abrasão ou cavitação;
- Erosão devido a descargas nas obras de dissipação ou a jusante;
- Ruídos e vibrações.

Após o primeiro enchimento, as anomalias a procurar são idênticas às da fase anterior. Deve-se proceder à elaboração de um relatório, quando o primeiro enchimento estiver terminado, englobando todas as avaliações realizadas e ainda eventuais alterações que seja necessárias introduzir nos modelos de comportamento a utilizar na fase de exploração, em função do comportamento observado durante o primeiro enchimento.

Durante a fase de exploração, devem-se realizar inspeções visuais sempre que:

- Ocorra um esvaziamento rápido da albufeira;
- Após ocorrência de grandes cheias;
- Após ocorrência de sismos;
- Outras ocorrências consideradas anómalas, tais como rutura de barragem a montante ou queda de taludes para o interior da albufeira.



# 5

## **ANÁLISE DA SEGURANÇA HIDRÁULICO-OPERACIONAL DAS BARRAGENS EM ESTUDO**

### **5.1. INTRODUÇÃO**

O Regulamento de Segurança de Barragens tem por objetivo a segurança das barragens durante as fases de projeto, construção, 1º enchimento, exploração e abandono.

O controlo da segurança hidráulico-operacional inicia-se na fase de projeto da barragem, integrando os estudos relacionados com o dimensionamento dos órgãos de segurança e de exploração. Posteriormente, este tipo de controlo desenvolve-se, essencialmente, com base no registo e interpretação dos dados relativos à sua operação. Esta monitorização, aliada às inspeções realizadas periodicamente e uma manutenção adequada, permitem a deteção de anomalias de funcionamento e a realização atempada de operações de reparação dos órgãos de segurança, evitando a ocorrência de acidentes.

Relativamente à segurança de barragens durante a fase de exploração, o artigo 38º do RSB especifica que o controlo da segurança hidráulico-operacional, deve ser realizado através de inspeções e por aplicação das regras de exploração da barragem, relativas à operação, manutenção e conservação dos órgãos de segurança e exploração bem como à verificação e possível revisão dos critérios de projeto.

Por outro lado, a aplicação do RSB às barragens em fase de exploração exige, de acordo com o artigo 56, a definição da classe a atribuir a cada uma delas em função dos danos potenciais que lhes estão associados, bem como a identificação de não conformidades e das respetivas medidas corretivas.

Conforme mencionado no capítulo 2, uma das principais causas da rutura de barragens está ligada ao inadequado comportamento dos respetivos órgãos de segurança, em especial dos descarregadores de cheias. Tal está associado, essencialmente, a questões de carácter hidrológico (subavaliação da cheia de projeto) e de carácter hidráulico-operacional, envolvendo deficiente conceção e dimensionamento desses órgãos, alterações das condições de exploração e deficiente funcionamento dos equipamentos.

Assim, tendo em conta que o conjunto das 33 barragens que integram os grandes aproveitamentos hidroelétricos existentes em Portugal são bastante antigas, tendo sido projetadas e construídas (com exceção de Alqueva), antes da data da publicação da legislação de segurança de barragens que lhes é aplicável, procedeu-se à análise das atuais condições da segurança hidráulico-operacional das referidas barragens tendo em conta os trabalhos que a EDP tem vindo a desenvolver.

## **5.2. AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE SEGURANÇA DE BARRAGENS**

### **5.2.1. ASPETOS A CONSIDERAR NA AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS**

A avaliação de segurança de barragens contempla vários aspetos de diferente ordem de grandeza, quer em termos económicos, quer em termos de facilidade e viabilidade de atuação. Os aspetos a considerar na avaliação de segurança de barragens podem ser divididos em dois grupos:

- Aqueles que podem suscitar intervenções corretivas de fundo;
- Aqueles que se podem gerir de uma forma mais económica e rápida, mas também não menos importante que os primeiros.

Em relação ao primeiro grupo, as intervenções correspondem a reparações de carácter estrutural, sendo normalmente bastante dispendiosas. Terão incidência:

- Na estabilidade das margens da albufeira;
- Na estabilidade da estrutura da barragem;
- Nos aspetos hidrológicos;
- Na estabilidade, capacidade e operacionalidade dos órgãos de segurança;
- Nos equipamentos hidromecânicos dos órgãos de segurança.

A estabilidade das margens da albufeira é um aspeto que não tem a ver com a barragem propriamente dita, mas que pode pôr em causa a sua segurança, originando acidentes devido à possibilidade de ocorrência de deslizamentos de grandes quantidades de terra. A estabilidade estrutural da barragem é um dos aspetos de segurança de maior importância pois o objetivo fundamental é evitar a rutura da barragem.

Os restantes aspetos fazem parte da segurança hidráulico-operacional.

Os aspetos hidrológicos são fundamentais para a avaliação da segurança de uma barragem, pois condicionam o funcionamento dos órgãos de segurança e a própria gestão da albufeira, não só em termos de segurança como também em termos de funcionalidade do aproveitamento.

Quanto à estabilidade, capacidade e operacionalidade dos órgãos de segurança, ou seja o correto funcionamento da descarga de fundo e dos descarregadores de cheias podem originar problemas estruturais graves obrigando a reparações dispendiosas. É mais habitual existirem problemas em descarregadores equipados com comportas, mas também podem ocorrer em descarregadores de funcionamento livre.

Os problemas relacionados com os equipamentos hidromecânicos dos órgãos de segurança são um aspeto fundamental da segurança de barragens, pois uma simples falha num sistema de uma comporta de um descarregador de cheias pode ser catastrófico. É um problema que abrange vários ramos de engenharia, pois os equipamentos de obturação dos descarregadores de cheias são constituídos por parte elétrica, mecânica e estrutural.

Em relação aos aspetos que se podem gerir de uma forma mais económica e rápida, embora sejam problemas cuja resolução é mais fácil, não são considerados menos importantes. Destes, destacam-se os seguintes:

- Riscos a jusante;
- Questões relacionadas com pessoal responsável;
- Documentação;
- Telecomunicações;
- Condições de circulação na área do aproveitamento hidráulico;
- Proteção contra intrusão.

Quanto aos riscos a jusante, é necessário haver um estudo para o caso da ocorrência de rutura da estrutura, para assim se minimizarem as suas consequências no que respeita, principalmente, à perda de vidas humanas.

É necessário a existência de um técnico responsável pela segurança a trabalhar com operadores qualificados. Em situações de previsão de condições adversas que possam pôr em causa a segurança da barragem, esta não deve estar apenas dependente dos sistemas de automatização. Nessas alturas devem estar presentes na barragem técnicos qualificados.

Deve existir junto de cada barragem, um mínimo de documentação, apenas a necessária, para que, em caso de emergência, se possa realizar a consulta de forma rápida e eficiente. Nestes, devem constar os seguintes documentos relativos à segurança hidráulico-operacionais:

- Lei da manobra dos dispositivos de obturação dos descarregadores de cheias e descargas de fundo;
- Manuais de manutenção do equipamento;
- Registo das manobras efetuadas, dos caudais descarregados e das operações de manutenção.

As telecomunicações devem permitir o contacto entre as várias entidades responsáveis pela segurança, o dono de obra o técnico responsável pela segurança, para isso deve existir uma rede fiável de comunicação entre barragens adjacentes, para que em caso de emergência nada falhe.

Tal como o sistema de telecomunicações, também as condições de circulação na área adjacente à barragem deve permitir a circulação das entidades envolvidas, devendo ser criados bons acessos e ter disponibilidade de energia elétrica para iluminação, elevadores, ventilação e drenagem.

É indispensável a tomada de medidas de segurança, que dificultem ao máximo o acesso ao controlo dos dispositivos de segurança da barragem por pessoal não autorizado, evitando assim manobras inadvertidas ou mal intencionadas.

#### 5.2.2. AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE SEGURANÇA HIDRÁULICO-OPERACIONAL DE BARRAGENS EM EXPLORAÇÃO

Face às exigências da legislação em vigor, o processo de avaliação das condições de segurança hidráulico-operacional de uma barragem em exploração (caso de todas as barragens em estudo), deverá processar-se segundo a sequência seguinte:

- Estudo das ondas de inundação;
- Graduação do risco potencial induzido pela possível rutura da barragem, classificando-a numa escala de I a III, por ordem decrescente de gravidade, com base no cálculo das perdas de vidas humanas e dos prejuízos materiais, tendo em conta os resultados dos estudos da onda de inundação e a ocupação do vale a jusante;
- Fixação do período de retorno da cheia de projeto com base na classe e respetivas características;
- Reavaliação da cheia de projeto e verificação da adequação dos órgãos de segurança;
- Estudo, projeto e implementação de medidas que se considerem indispensáveis à satisfação das imposições regulamentares.

O primeiro passo no processo de avaliação das condições de segurança hidráulico-operacional de uma barragem é o estudo da respetiva onda de inundação no caso de ocorrência de rutura. Este estudo visa

definir as características da onda com o objetivo de determinar os seus efeitos. Estes dependem de vários fatores, tais como:

- Tipo, dimensão e características da barragem e respetiva albufeira;
- Características do curso de água em que se insere;
- Tipo de ocupação e morfologia do vale a jusante;
- Possibilidade de existência de barragens em cascata.

De salientar a importância da existência de barragens em cascata, ou seja, a existência de várias barragens no mesmo curso de água. A onda de inundação provocada pela rutura de uma barragem que se encontre a montante de outra, caso atinja a albufeira da barragem de jusante, pode provocar a rutura desta e assim sucessivamente para as restantes localizadas a jusante.

Seguidamente, e já com a delimitação da área, abrangida pela onda de inundação, bem como dos níveis de água atingidos procede-se à classificação das barragens. De acordo com o RSB (quadro 4.2 do capítulo 4), é feita a classificação da barragem em função da ocupação humana, bens e ambiente afetados pela onda de inundação.

Em função da atribuição da classe à barragem, e das características da mesma, é fixado um período de retorno através do quadro presente nas Normas de Projeto de Barragens (quadro 4.3 do capítulo 4).

Com o período de retorno calculado, é feito o cálculo da cheia de projeto e verificada a correspondente adequação dos descarregadores de cheias.

É também verificada a adequação das descargas de fundo.

Por fim, consoante os resultados dos estudos anteriores, são feitas as alterações necessárias para que, no que respeita à segurança, a barragem esteja em conformidade com as imposições regulamentares.

### **5.3. REVISÃO DOS CRITÉRIOS DE PROJETO DOS ÓRGÃOS DE SEGURANÇA**

Conforme já anteriormente referido, umas das principais causas de rutura de barragens é o comportamento inadequado dos dispositivos de descarga, principalmente dos descarregadores de cheias.

Este facto pode estar relacionado com um deficiente dimensionamento dos descarregadores de cheias, pois, muitas vezes, as cheias de projeto adotadas, principalmente nas barragens mais antigas, foram subavaliadas. Pode também estar relacionado com um mau funcionamento do equipamento ou com alteração das condições de exploração.

Perante tais problemas e também devido às novas exigências regulamentares (artigos 38º e 56º do RSB), é necessário proceder-se à reanálise dos respetivos projetos, o que implica a realização de um conjunto de estudos compreendendo, para cada obra, o seguinte:

- Revisão dos caudais de cheia de projeto, ou seja, verificar se os caudais calculados inicialmente são aceitáveis e, se necessário definir novos valores;
- Verificação da adequação dos descarregadores de cheias e das descargas fundo, e no caso de estes não satisfazerem as exigências regulamentares de segurança, proceder ao estudo das medidas corretivas que permitam o correto funcionamento dos mesmos.

### 5.3.1. REVISÃO DA CHEIA DE PROJETO

Um dos aspetos que mais condiciona o caudal de cheia de projeto é o período de retorno. Este, principalmente nas barragens mais antigas, por vezes não se encontra definido ou apresenta um valor inaceitável, por ser bastante reduzido. Esta incongruência no valor do caudal de cheia, deve-se a que, em grande parte das barragens antigas, os estudos iniciais foram realizados com recurso a critérios e métodos de cálculo obsoletos, comparativamente com os utilizados hoje em dia, ou não adequados às condições locais, muitas vezes utilizando séries de dados hidrometeorológicos de reduzida extensão.

Tal como foi referido anteriormente, é indispensável a fixação do período de retorno para a determinação da cheia de projeto, com base no quadro 4.3 do capítulo 4.

Pela análise do quadro 4.3 verifica-se que, sempre que o período de retorno é superior a 1000 anos, existe, um intervalo de valores para o período de retorno. Nestes casos considera-se o menor valor para o cálculo da cheia de projeto e o maior para a cheia de verificação.

Para o cálculo da cheia de projeto, recorre-se, normalmente, a dois métodos:

- Métodos estatísticos;
- Métodos de simulações hidrológica (modelos de precipitação-escoamento).

Recorrendo aos métodos estatísticos utilizam-se, habitualmente, distribuições de Gumbel, Log Pearson III e generalizada dos extremos, sendo a qualidade do ajuste avaliado pelos testes de  $\chi^2$  e de Kolmogorov-Smirnov. A aleatoriedade e consistência das séries de caudais e precipitações pode ser analisada através dos testes de Wald-Wolfowitz, número de extremos locais, desvio à média acumulado e máxima verosimilhança.

Um dos métodos de simulação hidrológica bastante utilizado é o modelo HEC-1, desenvolvido pelo Hydrologic Engineering Center do U.S Army Corps of Engineers (Fernandes et al. 2013).

### 5.3.2. ADEQUAÇÃO DOS ÓRGÃOS DE SEGURANÇA

De acordo com o ponto 1c) do artigo 56º do RSB, no caso da avaliação referida nas alíneas anteriores conduzir à identificação de não conformidades com as disposições regulamentares, deverão ser definidas medidas corretivas que visem a sua adaptação às condições do RSB e executadas após aprovação pela Autoridade.

#### 5.3.2.1. Descarregadores de cheias

Depois de ultrapassada a fase de revisão dos caudais de cheia de projeto, é necessário verificar a adequação dos descarregadores de cheia, de acordo com o artigo 15º do RSB conforme já especificado no capítulo anterior.

Se o descarregador não tiver capacidade de realizar a descarga do novo caudal de cheia nas condições acima previstas, devem ser tomadas medidas que visem o correto funcionamento de acordo com o regulamento. Estas medidas podem ser estruturais ou não estruturais.

As medidas estruturais podem contemplar a adaptação do descarregador existente, ou a construção de um novo descarregador, complementando ou substituindo o existente, caso este não tenha condições para continuar em funcionamento.

As medidas não estruturais são medidas não evasivas, ou seja podem contemplar a alteração dos níveis de exploração da albufeira. Pode-se implementar um abaixamento do NPA (nível de pleno

armazenamento), garantindo uma adequada capacidade de reserva na albufeira para encaixe do volume das cheias, ou, se as características da barragem o permitirem, um aumento do nível máximo de cheia, aumentando também a capacidade de reserva da albufeira.

Depois de estudadas todas as soluções em termos de segurança, viabilidade técnica, económica e ambiental, os responsáveis pela exploração da barragem, com o aval das entidades responsáveis, tomam uma decisão.

#### 5.3.2.2. Descargas de fundo

As descargas de fundo têm diversas finalidades, sendo que a principal está relacionada com o esvaziamento completo da albufeira em caso de ocorrência de algum incidente que ponha em risco a sua segurança. Durante a fase de primeiro enchimento da albufeira, permite também efetuar algum controlo.

O regulamento é omissivo quanto ao critério de dimensionamento das descargas de fundo, não definindo valores para a sua capacidade mínima de vazão, nem para o tempo de esvaziamento.

É corrente utilizarem-se critérios seguidos noutros países, como por exemplo em França e nos Estados Unidos.

No que respeita às exigências do RSB em relação aos equipamentos de obturação das descargas de fundo (já referidas no capítulo anterior), na maioria das barragens não foram detetadas não conformidades. Apenas em algumas das barragens mais antigas foram identificados alguns problemas, sendo necessário proceder à reparação ou substituição dos órgãos de obturação.

### 5.4. MEDIDAS CORRETIVAS NAS BARRAGENS EM ESTUDO

Com base na análise do trabalho que tem vindo a ser desenvolvido pela EDP no âmbito da segurança, identificaram-se as medidas corretivas já definidas para os descarregadores de cheias das 32 barragens contempladas no presente estudo. As referidas medidas encontram-se resumidas no quadro apresentado no anexo A3.

A análise do referido quadro permite concluir que:

- Em 8 barragens, as cheias de projeto iniciais eram aceitáveis e o funcionamento dos descarregadores de cheias era adequado. Não foi, por isso, necessária a implementação de qualquer medida corretiva;
- Em 5 barragens foi considerado aceitável o aumento do nível de máximo cheia (NMC), mantendo o nível de pleno armazenamento (NPA);
- Em 4 barragens considerou-se o abaixamento do nível de pleno armazenamento (NPA) nos meses de inverno, para que fosse possível dispor de um maior encaixe para as cheias, mantendo o nível de máxima cheia;
- Em 3 barragens foi necessário implementar medidas estruturais de que resultou a decisão de construção de novos descarregadores de cheias, complementares dos já existentes;
- As 12 barragens situadas nos rios internacionais encontram-se ainda em estudo.

#### 5.4.1. BARRAGENS ABRANGIDAS POR MEDIDAS CORRETIVAS ESTRUTURAIS

As três barragens que envolveram a necessidade de construção de novos descarregadores complementares dos atualmente existentes fazem parte do sistema hidroelétrico Cávado- Rabagão-Homem (figura 5.1), o qual abrange os concelhos de Montalegre, Vieira do Minho, Terras de Bouro e Barcelos, uma das zonas mais montanhosas e de maior pluviosidade do país.

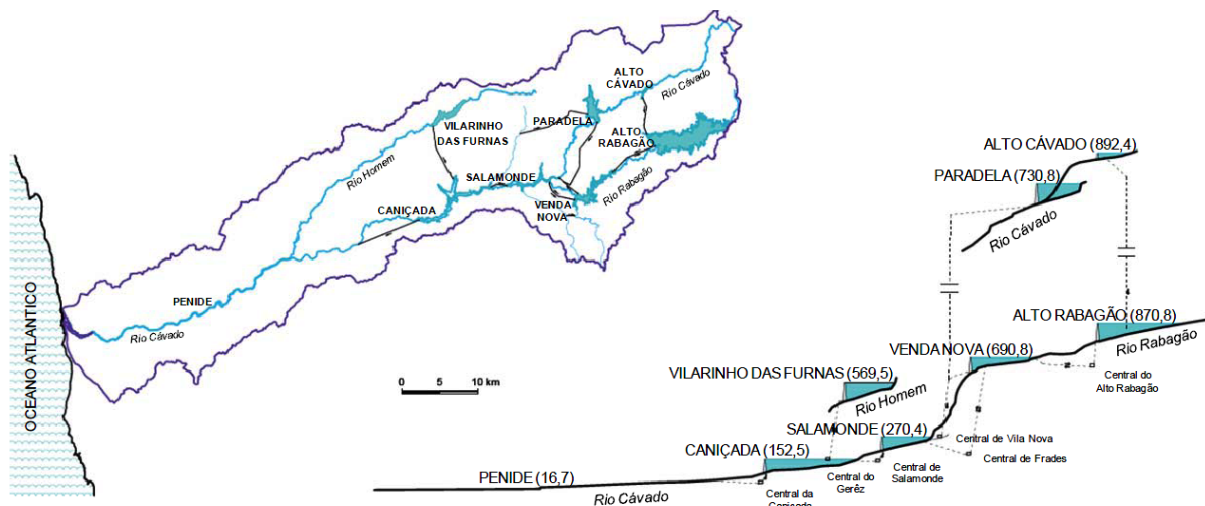


Fig. 5.1 – Sistema hidroelétrico Cávado-Rabagão-Homem (Oliveira e Silva 2012)

##### 5.4.1.1. Barragem de Paradela

A barragem de Paradela (figura 3.13) está situada no rio Cávado e entrou em funcionamento em Abril de 1956. É do tipo enrocamento com cortina de impermeabilização de betão a montante, tem uma altura máxima desde a fundação de 112 metros e o seu coroamento tem um desenvolvimento de 540 metros. Possui uma albufeira com a capacidade de  $164,5 \text{ hm}^3$  à cota de 730,8 (cota do nível de pleno armazenamento).

Inicialmente, a barragem dispunha de dois descarregadores de cheias um em poço sem comportas e outro do tipo frontal equipado com comporta de comando automático, possuindo o conjunto uma capacidade de vazão de  $693 \text{ m}^3/\text{s}$ , conforme dados do projeto inicial.

No Inverno de 1959/1960 foi necessário realizar descargas através do descarregador controlado (descarregador frontal), que causaram fortes erosões ao longo de todo o trecho da ribeira de Sela, a jusante da saída do descarregador (Oliveira, Oliveira e Fernandes 2012), provocando instabilização das encostas. Em consequência deste facto, o descarregador foi desativado e a exploração da albufeira esteve condicionada, funcionando a cotas mais baixas com vista a poder encaixar um maior volume de água.

Foi feita pelo LNEC uma reanálise dos ensaios em modelo físico reduzido dos descarregadores, concluindo que o descarregador em poço não controlado possuía uma capacidade de vazão de  $600 \text{ m}^3/\text{s}$  e o descarregador controlado, entretanto fora de funcionamento, possuía uma capacidade de descarga de  $338 \text{ m}^3/\text{s}$ . A soma da capacidade dos dois descarregadores perfaz um total de  $938 \text{ m}^3/\text{s}$ , maior que os  $693 \text{ m}^3/\text{s}$  considerados inicialmente. Contudo, nem assim se satisfaziam as novas exigências de segurança.

Sendo a barragem de Paradela do tipo enrocamento, com uma altura superior a 50 metros e classificada de classe I, foi considerado, para a reavaliação da cheia de projeto, um período de retorno de 5000 anos, seguindo o disposto nas NPB (quadro 4.3).

Foi efetuada uma simulação utilizando os descarregadores iniciais, considerando não haver limitações de funcionamento do descarregador controlado. Verificou-se que o nível de máxima cheia (NMC) ultrapassava a cota do coroamento da barragem em cerca de 0,16 metros. O caudal máximo efluente, ou seja, o caudal que os descarregadores lançariam, seria de, respetivamente, 704 m<sup>3</sup>/s e 486 m<sup>3</sup>/s, para o descarregador em poço e para o frontal, perfazendo um total de 1190 m<sup>3</sup>/s, valor bastante superior à capacidade máxima dos descarregadores, quer no projeto inicial (600 m<sup>3</sup>/s), quer na revisão efetuada pelo LNEC (938 m<sup>3</sup>/s).

Considerando as limitações do descarregador controlado e a insuficiente capacidade de vazão dos descarregadores existentes (mesmo admitindo os dois descarregadores a funcionar), a EDP optou pela construção de um novo descarregador de cheias e pela desativação definitiva do descarregador frontal.

O novo descarregador (figura 5.2) foi construído na margem direita da albufeira, tendo sido concluída a sua construção em Novembro de 2011. É constituído por um canal equipado com duas comportas, sendo escavado na encosta e tendo cerca de 400 metros de comprimento. Na extremidade de jusante dispõe de um trampolim que lança os caudais para o leito do rio Cávado.



Fig. 5.2 – Novo descarregador de cheias da barragem de Paradela, em funcionamento

Para a nova cheia de projeto, com período de retorno de 5000 anos, o caudal de ponta é de 1348 m<sup>3</sup>/s. Considerando o amortecimento provocado pela albufeira, obtém-se um caudal máximo efluente de 1180 m<sup>3</sup>/s (sendo 650 m<sup>3</sup>/s descarregados pelo novo descarregador e 530 m<sup>3</sup>/s pelo descarregador em poço já existente). A barragem de Paradela encontra-se agora em conformidade com as novas exigências regulamentares de segurança hidráulico-operacional.

#### 5.4.1.2. Barragem de Salamonde

A barragem de Salamonde (figura 5.3) está situada no rio Cávado a 5 Km da intersecção com o rio Rabagão. Entrou em funcionamento em 1953. É do tipo abóbada delgada, com 75 metros de altura e



203 metros de comprimento do coroamento. A sua albufeira possui uma capacidade de  $65 \text{ hm}^3$ . Possui um descarregador de cheias e uma descarga de fundo. O descarregador de cheias é do tipo frontal, controlado por comportas, em lâmina livre, o seu caudal é lançado sobre um “colchão de água”, formado por um pequeno açude a jusante do paramento, que funciona como medida de dissipação de energia. A capacidade máxima de descarga do descarregador de cheias é de  $1700 \text{ m}^3/\text{s}$  e a da descarga de fundo de  $140 \text{ m}^3/\text{s}$ .



Fig. 5.3 – Barragem de Salomonde. Situação anterior à recente intervenção (cnpgb.inag.pt)

A simulação da capacidade de vazão para a nova cheia de projeto com período de retorno de 1000 anos (quadro 4.3), permitiu concluir que o descarregador de cheias não tem capacidade suficiente para garantir que o nível da albufeira não exceda o NMC (270,9), podendo mesmo ser ultrapassada a cota do topo da guarda do coroamento da barragem em 2 metros.

Tendo em vista a adequação à nova cheia de projeto do descarregador de cheias, foram analisadas as seguintes soluções:

- Manutenção do NPA e reforço da capacidade de vazão dos descarregadores, à custa de um novo descarregador;
- Condicionamento da exploração normal das albufeiras, com abaixamento do NPA, criando assim capacidade de “amortecimento” das cheias.

A EDP optou pela construção de um novo descarregador (figura 5.4), complementar do existente. A sua construção teve início em Março de 2011, encontrando-se, no presente ano, na fase final de construção.

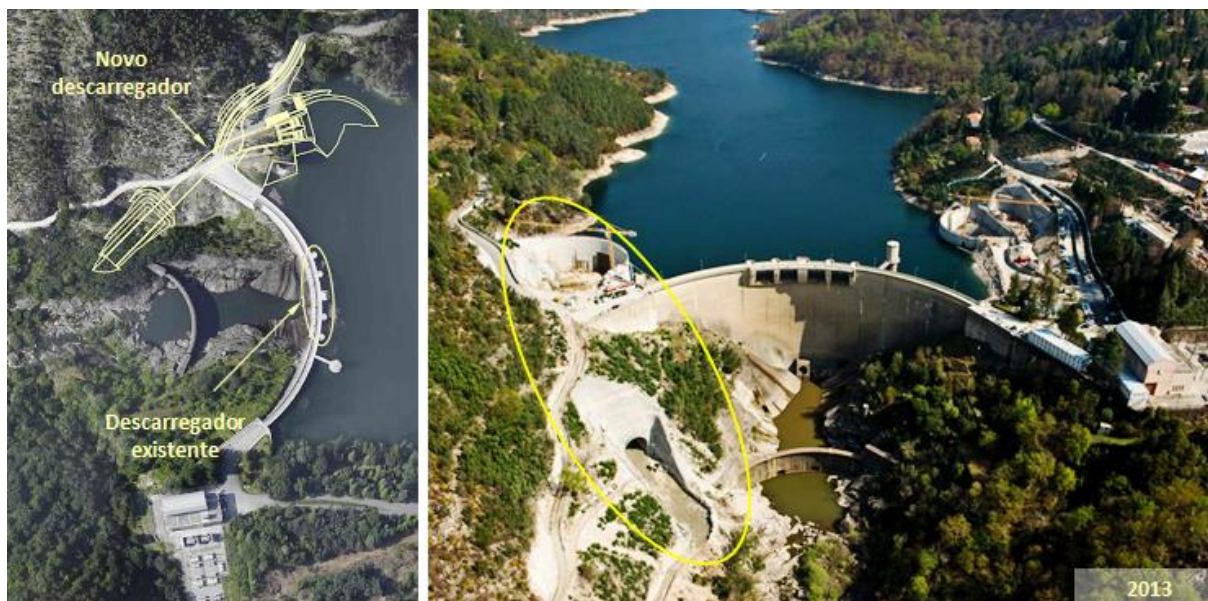


Fig. 5.4 – Novo descarregador de cheias da barragem de Salomonde (Fernandes, Oliveira e Silva 2013)

O novo descarregador foi implantado na margem direita junto ao encontro da barragem sendo constituído por um canal em que a parte inicial é em canal aberto, controlado por comportas, seguindo-se um túnel escavado na encosta com 100 metros de desenvolvimento e com dissipação de energia por meio de trampolim.

O caudal associado à nova cheia de projeto, para um período de retorno de 1000 anos, é de  $2867 \text{ m}^3/\text{s}$ , 43% superior ao caudal de ponta considerado no projeto inicial. Devido à capacidade de amortecimento de cheias na albufeira, o caudal máximo efluente tem o valor de  $2828 \text{ m}^3/\text{s}$ , suficiente para garantir a segurança hidráulico-operacional da barragem.

#### 5.4.1.3. Barragem de Caniçada

A barragem de Caniçada situa-se, também, no rio Cávado a 17 Km da barragem de Salamonde. É de betão, do tipo abóbada delgada, com 76 metros de altura e 196 metros de desenvolvimento de coroamento. A sua albufeira tem uma capacidade de armazenamento de 152,7 hm<sup>3</sup>. Possui um descarregador de cheias com a capacidade de 1736 m<sup>3</sup>/s e uma descarga de fundo com 142 m<sup>3</sup>/s de capacidade máxima de vazão.



Fig. 5.5 – Barragem de Caniçada (cnpqb.inag.pt)

Segundo o projeto inicial, o caudal de ponta associado à cheia de projeto é de 2400 m<sup>3</sup>/s, sendo a capacidade máxima de vazão do descarregador de cheia de 1736 m<sup>3</sup>/s.

Da simulação da capacidade de vazão da nova cheia de projeto, considerando um período de retorno de 1000 anos, de acordo com a classe da barragem e as suas características (quadro 4.3), verificou-se que, o descarregador não tinha capacidade suficiente para garantir que o nível da água da albufeira não excedia o NMC, sendo mesmo ultrapassada a cota do topo da guarda do coroamento, em cerca de 3 metros.

Tal como nas anteriores barragens, foram analisadas soluções tendo em vista a adequação do descarregador de cheia à nova cheia de projeto. As soluções adotadas foram idênticas às consideradas para Salamonde, tendo a EDP optado, também, pela construção de um novo descarregador complementar do existente. A sua construção está agora na fase inicial.





Fig. 5.6 – Novo descarregador de cheias da barragem de Caniçada (Fernandes, Oliveira e Silva 2013)

O novo descarregador de cheias (figura 5.6) será construído na margem esquerda e será idêntico ao de Salamonde. A estrutura de entrada será em superfície livre controlada por comportas, à qual se segue um túnel escavado na encosta, com cerca de 200 metros de desenvolvimento, tendo no final um trampolim.

Do cálculo da nova cheia de projeto, considerando um período de retorno de 1000 anos, resultou um caudal de ponta de  $3966 \text{ m}^3/\text{s}$ , cerca de 66% superior ao considerado no projeto inicial, e um caudal máximo efluente, considerando o amortecimento na albufeira, de  $3762 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $2062 \text{ m}^3/\text{s}$  pelo novo descarregador e  $1700 \text{ m}^3/\text{s}$  pelo já existente).

# 6

## **PROPOSTAS DE MELHORIA DA LEGISLAÇÃO PORTUGUESA DE SEGURANÇA DE BARRAGENS**

### **6.1. INTRODUÇÃO**

A legislação de segurança de barragens difere de país para país, sendo umas legislações mais completas que outras. As diferenças são devidas a fatores de ordem económica, histórica, cultural e ambiental. Cada país tem de adaptar às suas necessidades e prioridades o tipo de legislação.

A questão da experiência adquirida ao longo dos anos, diretamente ligada à idade das barragens, também se reflete, sobretudo ao nível da qualidade, no tipo de legislação.

Convém portanto, perceber as diferenças entre as abordagens dos vários países. Só assim será possível a introdução de melhoramentos nos sistemas de controlo de segurança existentes. É aconselhável a aprendizagem e evolução com entidades que disponham de experiência comprovada.

Tendo como base a análise da legislação de segurança de barragens de vários países, no presente capítulo são apresentadas propostas, que o autor considera pertinentes, tendo em vista a melhoria da atual legislação portuguesa.

### **6.2. LEGISLAÇÃO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS EM VÁRIOS PAÍSES**

É importante salientar a dificuldade de um estudo de comparação de legislação a nível mundial, sobretudo devido às diferenças inerentes a cada país. Cada país tem a sua forma de publicar a legislação referente a barragens. Também é frequente a existência de critérios ou linhas orientadoras, "guidelines", que não estão diretamente associados à legislação oficial. Em países constituídos por vários estados, existem muitas vezes vários tipos de legislação dentro de cada país. Há também países cujo acesso à legislação é restrito, não sendo possível a sua consulta.

#### **6.2.1. BARRAGENS ABRANGIDAS POR LEGISLAÇÃO**

No quadro 6.1 apresentam-se os critérios de aplicação da legislação de segurança de barragens em 15 países. A questão que se coloca é a seguinte: a partir de que altura da barragem é necessário, ou se aconselha, que seja abrangida pela legislação? Pela análise do quadro seguinte conclui-se que o critério utilizado difere bastante de país para país, sendo uns mais exigentes que outros.

Quadro 6.1 – Critérios de aplicação da legislação em função das características das barragens. Adaptado de (Martins 2000b)

País	Barragem
África do Sul	$H > 5\text{m}$ e $V > 50000\text{ m}^3$
Canadá	$H > 7,60\text{m}$ (25ft) e $V > 61670\text{ m}^3$ (50 acre-foot)
Eslovénia	Regras da ICOLD
Espanha	Regras da ICOLD
EUA	Como o Canadá
Finlândia	$H > 3\text{m}$
França	$H > 20\text{m}$ ou quando implica um perigo para a população; $H > 20$ e $V > 15 \times 10^6\text{ m}^3$ obriga a plano de emergência
Itália	$H > 15\text{ m}$ ou $V > 10^6\text{ m}^3$
Jugoslávia	Regras da ICOLD
Noruega	$H > 4\text{m}$ ou $V > 500\,000\text{ m}^3$
Reino Unido	$V > 25\,000\text{ m}^3$
Suécia	$H > 15\text{m}$ ou $V > 50000\text{ m}^3$
Suíça	$H > 10\text{m}$ ou $H > 5\text{m}$ e $V > 50\,000\text{ m}^3$
Zimbabwe	$H > 8\text{m}$
Portugal	$H > 8\text{m}$

Relativamente ao quadro anterior convém referir que:

- H significa altura hidráulica;
- As regras estipuladas pela ICOLD são:  $H > 15\text{m}$  ou  $H > 10\text{m}$  desde que  $L > 500\text{m}$  ou  $V > 10^6\text{ m}^3$  ou  $Q > 2000\text{ m}^3/\text{s}$ , sendo L o desenvolvimento do coroamento e Q o caudal de projeto do descarregador de cheias;
- Nos Estados Unidos e no Canadá, como se trata de países constituídos por estados federados, os critérios indicados podem não se aplicar a todo o território;
- Na Suécia devem ser inventariadas as barragens com  $H > 5\text{m}$ .

Em Portugal, conforme já foi referido no capítulo 4, existe legislação específica para pequenas e grandes barragens. O Regulamento de Pequenas Barragens (RPB) aplica-se a todas as barragens com  $H < 15\text{m}$ , podendo as barragens com  $H < 8\text{m}$  ser dispensadas (quando especiais condições técnicas assim o exigirem). As restantes barragens (as de maior dimensão) são abrangidas pelo RSB. Daí que, em Portugal, é estritamente obrigatório, todas as barragens com  $H > 8\text{m}$ , estarem abrangidas por legislação.

Em vários países não se aplica legislação a barragens de muito baixa altura. Em 8 dos 15 países referenciados no quadro 6.1 não se aplica legislação para barragens com  $H < 10\text{m}$ . Embora as barragens com esta dimensão não constituam um risco tão elevado para a população, como as de maior dimensão, já ocorreram por todo o mundo várias ruturas de barragens pequenas com consequente perda de vidas humanas. No quadro que consta no anexo A1, apresenta-se um estudo abrangendo

barragens que sofreram rutura, causando perda de vidas humanas no século XX. Constatou-se que 6 das 40 barragens tinham  $H \leq 10\text{m}$ .

#### 6.2.2. QUANTIFICAÇÃO DO RISCO POTENCIAL TENDO EM CONTA A PERDA DE VIDAS HUMANAS

A salvaguarda de vidas humanas é o objeto principal no que respeita à matéria de segurança de barragens. É habitual classificarem-se as barragens, abrangidas pela legislação, consoante a possibilidade de perda de vidas humanas, resultantes de uma possível rutura. A sua graduação resulta normalmente numa diferenciação em termos de exigência ao nível da segurança. Os critérios utilizados para a realização dessa graduação são vários e diferem de país para país. Em Portugal, por exemplo, as barragens são distinguidas segundo três classes, sendo as de classe I as associadas ao maior risco potencial, às quais correspondem 25 ou mais residentes na região do vale a jusante potencialmente afetada pela onda de inundação.

Segundo umas “guidelines” americanas bastaria estar uma vida humana em perigo para implicar exigências máximas ao nível de segurança (Martins 2000b). A legislação espanhola utiliza uma definição mais imprecisa (RTS 1996), definindo as barragens de maior risco potencial como “Barragens cujo funcionamento incorreto pode afetar gravemente os núcleos urbanos ou serviços essenciais, assim como produzir danos materiais e ambientais significativos”.

A forma mais exigente de classificação de barragens conforme o risco potencial, seria a realização de um levantamento do número de população fixa em risco, tal como é feito na legislação portuguesa.

#### 6.2.3. ENTIDADES RESPONSÁVEIS PELA SEGURANÇA

Em Portugal existem várias entidades responsáveis pela segurança, tal como se refere no capítulo 4, no ponto 4.4.4, nomeadamente entidades de administração pública, uma comissão de segurança de barragens e o dono de obra.

No caso da Suíça, a segurança fica a cargo do dono de obra e da Autoridade, sendo a Autoridade um departamento ministerial. Os serviços de proteção civil integram em muitos países a Autoridade, caso de Portugal, Espanha ou Suíça.

Por vezes o dono de obra constitui a própria Autoridade, assumindo-se assim como total responsável pela segurança da barragem, caso da África do Sul, em que o dono de obra é o próprio ministério (Martins 2000b).

#### 6.2.4. COMPARAÇÃO DA LEGISLAÇÃO REFERENTE À SEGURANÇA HIDRÁULICO-OPERACIONAL

Em alguns países a legislação relativa à segurança hidráulico-operacional remete essencialmente para um quadro de carácter jurídico-administrativo, sendo a componente técnica muito reduzida. É o caso dos seguintes países: África do Sul, Eslovénia, Finlândia, França, Holanda, Suécia e Suíça. Nos países como Portugal, Espanha, Itália e Noruega faz parte integrante do regulamento um articulado técnico, contendo os aspetos mais práticos e técnicos (Martins 2000b). Na legislação portuguesa esses aspetos mais técnicos figuram no regulamento e nas normas associadas ao mesmo.

#### 6.2.4.1. Cheias a considerar no dimensionamento

Além da cheia de projeto, associada a um período de retorno, é usual considerar-se para o dimensionamento hidráulico e estrutural da barragem um valor superior, a cheia de verificação.

Essa cheia de verificação, no caso português, é calculada utilizando o período de retorno correspondente aos valores superiores dos intervalos apresentados nas NPB (quadro 4.3).

Porém, a cheia de verificação não é calculada da mesma maneira em todos os países. O regulamento Suíço considera uma cheia cujo caudal de ponta é 1,5 vezes o caudal de ponta da cheia associada a um período de retorno de 1000 anos. O regulamento Italiano considera um caudal de ponta 1,4 vezes o caudal de ponta da cheia de projeto para barragens de betão e 1,7 para barragens de aterro (Franco e Gomis 2001).

A consideração das cheias de verificação, funcionam como uma majoração dos caudais da cheia de projeto, concretizando-se, assim, o dimensionamento pelo lado da segurança. Por vezes, aceitam-se para a cheia de verificação, condições que não se aceitam para a cheia de projeto, como por exemplo: menor folga ou contribuição das descargas de fundo (funcionando como órgão auxiliar dos descarregadores de cheias).

No estado canadiano de Alberta, existem “guidelines” bastante completas quanto ao critério de escolha das cheias a considerar no dimensionamento, conforme seguidamente se indica.

Primeiro classificam-se as barragens, consoante a altura e o volume de água armazenado (quadro 6.2).

Quadro 6.2 – Classificação das barragens consoante a altura e o volume da albufeira (Franco e Gomis 2001)

	Capacidade da albufeira ( $m^3$ )	Altura (m)
Pequenas	Até $1,2 \times 10^6$	Até 12
Médias	$1,2 \times 10^6$ a $60 \times 10^6$	12 a 30
Grandes	Mais de $60 \times 10^6$	Mais de 30

Seguidamente definem-se os riscos potenciais em termos de vidas humanas e prejuízos materiais (quadro 6.3).

Quadro 6.3 – Classificação em relação aos riscos potenciais (Franco e Gomis 2001)

	Perdas de vidas humanas	Prejuízos materiais
Baixo	Não esperada	Mínimos
Significativo	Poucas	Apreciáveis
Alto	Elevadas	Elevados

Por fim, determina-se o período de retorno com base no quadro seguinte, no qual a sigla PMF (Probable Maximum Flood), ou seja cheia máxima provável.



Quadro 6.4 – Matriz de determinação do período de retorno (Franco e Gomis 2001)

	Pequenas	Médias	Grandes
Baixo	100	100 a 0,5 x PMF	0,5 a 1,0 x PMF
Significativo	100 a 0,5 x PMF	0,5 a 1,0 x PMF	1,0 x PMF
Alto	0,5 a 1,0 x PMF	1,0 x PMF	1,0 x PMF

Neste quadro existem situações em que é definido um intervalo de valores para o período de retorno tal como acontece na legislação portuguesa.

#### 6.2.4.2. Descarregadores de cheias, descargas de fundo e tomadas de água

No dimensionamento dos órgãos de descarga, as diferentes legislações divergem na possibilidade de contribuição da descarga de fundo e tomadas de água para a descarga de caudais, em caso de cheia (Martins 2000b).

Em Portugal e na Áustria, os descarregadores de cheias têm de ser capazes de descarregar a cheia de projeto sem auxílio de qualquer outro órgão.

Em França não se podem considerar as tomadas de água e normalmente não se podem considerar as descargas de fundo.

Na Suécia não se podem considerar as tomadas de água.

Em Itália não se podem considerar as tomadas de água, mas podem-se considerar as descargas de fundo, se devidamente justificado em projeto.

Na Suíça podem-se considerar as descargas de fundo e as tomadas de água, mas considera-se para o dimensionamento a inoperacionalidade do dispositivo de obturação do dispositivo de maior caudal (Martins 2000b).

Em Espanha podem-se considerar as descargas de fundo mas não se podem considerar as tomadas de água, a menos que se justifique (RTS 1996).

Existem barragens, principalmente as mais antigas, que não possuem descarga de fundo. A inexistência deste órgão de segurança e exploração, implica que se torne impossível baixar o nível da albufeira numa situação de emergência e complica também a operação de primeiro enchimento.

Contudo, ainda existe legislação que não explicita obrigatoriamente a implementação de descargas de fundo. Países como Portugal, França, Áustria e Espanha contemplam na sua legislação as descargas de fundo. O regulamento português obriga a que cada descarga de fundo seja equipada com duas comportas, uma destinada ao serviço normal e a outra funcionando como comporta de segurança. O regulamento espanhol ainda é mais exigente, pois obriga à implementação de descarga de fundo dupla, cada uma com duas comportas instaladas em série (RTS 1996). Também os regulamentos da Áustria e Suíça referem a existência de duas comportas por descarga de fundo.

Para além deste aspeto, uma questão também abordada em quase todos os regulamentos é a de existência de fontes distintas de energia para acionamento das comportas, tanto para as descargas de fundo como para os descarregadores de cheias.

A legislação italiana, não permite que uma barragem só disponha de descarregadores equipados. Define mesmo que 50% da capacidade de descarga deve ser assegurada por descarregadores não equipados. Define ainda que, para barragens de aterro, só sejam admitidos descarregadores de superfície (Franco e Gomis 2001).

As legislações de França, Suíça, Inglaterra e Áustria, obrigam a prever a inoperacionalidade de uma das comportas quando se efetua o dimensionamento. Há também a questão do número de vãos do descarregador de cheias. Em Portugal e Espanha é obrigatório que o descarregador de cheias tenha pelo menos dois vãos ou orifícios.

#### 6.2.4.3. Folga

Na legislação portuguesa, o valor a considerar para a folga (diferença entre as cotas do coroamento da barragem e o NMC) apenas é referido no Regulamento de Pequenas Barragens, sendo indicada uma folga mínima de 1 metro para as barragens de aterro. Nas Normas de Projeto de Barragens apenas é referido que deve existir uma folga, não sendo especificado qualquer valor.

Na maioria dos países a legislação não faz referência ao valor da folga, excetuando-se os regulamentos espanhol e italiano que apenas aceitam folga nula para as barragens de betão.

#### 6.2.4.4. Riscos a jusante

No caso de ocorrência de rutura, convém que se tomem medidas que minimizem os riscos a jusante, principalmente a salvaguarda de vidas humanas. Este é um assunto em que também há divergências na legislação de vários países.

A legislação portuguesa, apenas admite a existência de planos de emergência para as barragens abrangidas pelo RSB, ou seja para barragens cuja capacidade da albufeira seja superior a  $100\,000\text{ m}^3$ , barragens com altura superior a 15 metros independentemente da capacidade da albufeira e ainda outras barragens que não cumpram estes requisitos, mas que apresentem risco potencial elevado (classe I).

O regulamento espanhol, determina que, apenas para barragens cuja rutura implique a perda de vidas humanas, seja necessário a existência de um plano de emergência.

Em França é necessário que a barragem tenha mais de 20 metros de altura e que a capacidade de armazenamento seja superior a  $15 \times 10^6\text{ m}^3$  para que seja obrigatório um plano de emergência (Franco e Gomis 2001).

Na Roménia, os critérios são: a barragem ter mais de 10 metros de altura, um volume de armazenamento superior a  $10 \times 10^6\text{ m}^3$  e que haja áreas habitadas num raio de 10 Km da barragem.

Na Suíça as exigências são maiores ao nível dos sistemas de aviso e alerta. A legislação obriga à existência de sistemas de aviso e alerta para barragens com um armazenamento superior a  $2 \times 10^6\text{ m}^3$  e ainda para todas aquelas que possam representar perigo para as populações (Martins 2000b).

Outro assunto pertinente é a delimitação da região do vale a jusante abrangida pela onda de inundação.

A legislação portuguesa delimita uma área de 10 Km a jusante da barragem no caso de pequenas barragens com altura acima do leito do rio inferior a 10 metros e volume de armazenamento inferior a  $200\,000\text{ m}^3$ . Para as restantes barragens a área afetada deve ser calculada por aplicação de modelos

hidrodinâmicos ao estudo da onda de cheia, calculando a distância exata que a onda de inundação alcança.

A legislação francesa define critérios diferentes, tais como: (Franco e Gomis 2001)

- Até que a onda de inundação seja inferior à correspondente à cheia associada ao período de retorno de 100 anos;
- Até que a onda de inundação seja inferior à maior cheia conhecida;
- Até que a onda de inundação não represente perigo;
- Até que a onda de inundação deixe de provocar uma altura de água superior a 1 metro.

As “guidelines” canadianas definem de maneira diferente esta questão. Consideram o tempo que a onda de inundação demora a atingir a população. Não é considerada em risco a população cujo local se situe a mais de 3 horas da chegada da onda de inundação. (Franco e Gomis 2001)

Outra questão também abordada pela legislação é a definição da zona de auto-salvamento, que é a zona imediatamente a jusante da barragem, na qual se considera não haver tempo suficiente para uma adequada intervenção dos serviços e agentes da proteção civil em caso de acidente (RSB 2007). A definição desta zona é feita com base no tempo de chegada da onda de inundação.

Em Portugal a zona de auto-salvamento é definida pela distância à barragem que corresponde a um tempo de chegada da onda de inundação de 30 minutos, com a distância mínima de 5 Km (RSB 2007).

Em França, por exemplo, define-se a mesma zona correspondendo a um tempo de chegada da onda de inundação de 15 minutos.

Na Suíça, o período de tempo definido para a zona de auto-salvamento é de 2 horas, bastante superior aos tempos definidos em França e em Portugal (Franco e Gomis 2001).

### **6.3. PROPOSTAS DE MELHORIA DA LEGISLAÇÃO PORTUGUESA**

A legislação portuguesa de segurança de barragens, comparativamente com a legislação de outros países pode considerar-se bastante completa. Conforme se verificou anteriormente, nas várias divergências em termos de critérios e métodos, Portugal quase sempre esteve entre as mais conservadoras. Considera-se, no entanto, na sequência da análise efetuada, que existem alguns aspetos que poderão ser ajustados ou complementados.

Conforme já foi abordado no capítulo 4, o RSB sofreu uma atualização relativamente recente, em 2008, estando ainda em falta a revisão das normas que lhe estão associadas. Um documento que ainda não foi publicado é o que conterá as Normas de Exploração de Barragens.

No âmbito desta dissertação, apresentam-se seguidamente algumas propostas de melhoria da legislação em vigor, incidindo nos aspetos relacionados com a segurança hidráulico-operacional:

- Descarregadores de cheias
- Descargas de fundo;
- Folga.

#### **6.3.1. DESCARREGADORES DE CHEIAS**

Conforme referido no capítulo 2, um número significativo de ruturas ocorridas em barragens, foi originado por galgamento, devido a deficiências na operação das comportas dos descarregadores de cheias.

Tendo em vista minimizar este tipo de ocorrências poderão adotar-se os dois seguintes tipos de procedimento:

- Análogo ao contemplado na legislação italiana, na qual não é permitido que uma barragem só disponha de descarregadores equipados, obrigando a que 50% da capacidade de descarga seja suportada por descarregadores sem qualquer órgão de obturação;
- Análogo ao adotado em França, Suíça, Inglaterra e Áustria. A legislação destes países obriga a que se preveja a inoperacionalidade de uma das comportas no dimensionamento, garantindo assim, que as outras comportas tenham capacidade de escoar o caudal associado à cheia de projeto.

Considera-se que o segundo procedimento poderá constituir uma adequada proposta de melhoria a incluir no RSB.

#### 6.3.2. DESCARGAS DE FUNDO

De acordo com o RSB, “As descargas de fundo devem permitir o esvaziamento da albufeira e ser equipadas com duas comportas...”. No entanto, não é explicitado o critério a utilizar.

Devido à inexistência de critérios nacionais, são por vezes utilizadas regras definidas no estrangeiro.

Um dos critérios, de origem francesa, refere que as descargas de fundo têm de ser capazes, em situação de caudais afluentes nulos, de reduzir para metade a altura de água da albufeira em oito dias e que, além disso, a secção do escoamento não seja inferior a  $3m^2$  (Ramos 2000).

Outro critério utilizado foi definido pelo “US Bureau of Reclamation” de 1982, considerando que a descarga de fundo deverá ter capacidade para, em conjunto com os outros órgãos de segurança e exploração, baixar o nível da albufeira, no período de 1 a 4 meses, para o menor dos seguintes:

- Metade da altura hidráulica (nível médio entre o NPA e o nível de capacidade nula);
- Nível correspondente a 10 % da capacidade total.

Assim, considera-se que seria conveniente, numa futura revisão do RSB ou das Normas de Projeto, definir o critério de dimensionamento a utilizar neste órgão de segurança.

#### 6.3.3. FOLGA

A regulamentação portuguesa é omissa quanto ao valor da folga a considerar entre o nível de coroamento da barragem e o nível de máxima cheia da albufeira. Conforme já anteriormente mencionado, as Normas de Projeto de Barragens apenas referem a necessidade de existência dessa folga. Só no Regulamento de Pequenas Barragens é estipulado, para barragens de aterro, uma folga mínima de 1 metro.

A legislação Britânica quantifica o valor da folga em função da velocidade do vento e do tipo de classe da barragem (quadro 6.5).

Quadro 6.5 – Determinação da altura mínima de ondulação – Folga (West, Miranda e Matos 1998)

Classe	Velocidade do vento de dimensionamento	Altura mínima da ondulação (m)
A	Média horária máxima anual	0,6
B		0,4
C		
D		0,3

A quantificação do valor da folga, no regulamento português, permitiria evitar deficiências de projeto na construção de novas barragens.



# 7

## CONCLUSÕES

Neste capítulo pretendem-se resumir as conclusões obtidas no decorrer do trabalho desenvolvido no âmbito desta dissertação, ou seja, dar resposta aos objetivos propostos.

Apresentam-se seguidamente as principais conclusões:

- Os acidentes em barragens são bastante reduzidos, sendo a situação mais grave a ocorrência de rutura total ou parcial com libertação não controlada de um grande volume de água para jusante, pois pode originar perda de vidas humanas e avultados prejuízos em bens e ambiente. Os dados estatísticos disponíveis relativos a ruturas ocorridas a nível mundial permitem verificar que uma das principais causas está ligada ao inadequado comportamento hidráulico-operacional dos órgãos de segurança e exploração (nomeadamente dos descarregadores de cheias). Tal está associado, essencialmente, a questões de carácter hidrológico (subavaliação da cheia de projeto) e de carácter hidráulico-operacional, envolvendo deficiente conceção e dimensionamento desses órgãos, alterações das condições de exploração e deficiente funcionamento dos equipamentos. Em Portugal já ocorreram alguns acidentes em barragens, incluindo um caso de rutura (devido à insuficiente capacidade de vazão dos órgãos de segurança), mas não provocaram perdas de vidas humanas.
- O número de grandes barragens existentes em Portugal é significativo (cerca de duas centenas), a maioria das quais foi construída na segunda metade do século passado, antes da publicação de qualquer legislação nacional de segurança de barragens que as abrangesse. Destas, 62 estão integradas em aproveitamentos hidroelétricos, 33 das quais em grandes aproveitamentos (potência instalada superior a 10 MW). Estes últimos aproveitamentos foram, em grande parte, construídos nas décadas de 50 a 70 e têm especial importância no nosso país, não só na produção de energia limpa, mas para fins múltiplos. Devido às crescentes preocupações ambientais e ao significativo potencial hídrico ainda não explorado em Portugal, a construção de aproveitamentos hidroelétricos sofreu recentemente um novo incremento. Das 33 barragens que se encontram integradas nos grandes aproveitamentos hidroelétricos existentes em Portugal, apenas uma (Alqueva) foi projetada e construída após a publicação da primeira versão do RSB. Assim, foram analisadas 32 barragens.

- Embora as barragens sejam necessárias no nosso país para uma adequada gestão das águas, a sua construção e exploração pode envolver danos potenciais para as populações, bens e ambiente nas proximidades, pelo que é indispensável controlar a sua segurança através de medidas de projeto, construção, exploração, observação e inspeção. A legislação portuguesa aplicável à segurança de grandes barragens foi publicada apenas na década de 90 do século passado, sendo o seu objetivo controlar os aspetos estruturais, hidráulico-operacionais e ambientais, de modo a evitar a ocorrência de acidentes e incidentes e minimizar as suas consequências durante a vida da obra. A referida legislação é constituída pelo Regulamento de Segurança de Barragens (RSB) e por Normas de Projeto, de Construção e de Observação e Inspeção. Em 2008 entrou em vigor uma nova versão do RSB, resultante da revisão da anterior.
- De acordo com a legislação em vigor, o controlo da segurança hidráulico-operacional deve ser realizado através de inspeções e por aplicação das regras de exploração da barragem relativas, nomeadamente, à operação, manutenção e conservação dos equipamentos dos órgãos de segurança e exploração, bem como à verificação e eventual revisão dos critérios de projeto. Para as barragens construídas antes da publicação do RSB, este exige:
  - Definição da respetiva classe em função dos danos potenciais associados;
  - Avaliação da conformidade da barragem com as disposições do Regulamento aplicáveis às barragens da classe atribuída;
  - No caso da avaliação referida no item anterior conduzir à identificação de não conformidades, proposta de adequadas medidas corretivas.
- Face às exigências da legislação em vigor, o processo de avaliação das condições de segurança hidráulico-operacional de uma barragem em exploração, deverá processar-se segundo a sequência seguinte:
  - Estudo das ondas de inundação;
  - Graduação do risco potencial induzido pela possível rutura da barragem, classificando-a numa escala de I a III, por ordem decrescente de gravidade, com base no cálculo das perdas de vidas humanas e dos prejuízos materiais, tendo em conta os resultados dos estudos da onda de inundação e a ocupação do vale a jusante;
  - Fixação do período de retorno da cheia de projeto com base na classe da barragem e respectivas características;
  - Reavaliação da cheia de projeto e verificação da adequação dos órgãos de segurança;
  - Estudo, projeto e implementação de medidas que se considerem indispensáveis à satisfação das imposições regulamentares.
- A análise das condições de segurança hidráulico-operacional dos descarregadores de cheias das 32 barragens consideradas, permitiu concluir que:
  - Em 8 barragens não foram detetadas não conformidades;
  - Em 9 barragens foi suficiente a implementação de medidas não estruturais que incluíram o abaixamento do nível de pleno armazenamento da albufeira, ou a subida do nível de máxima cheia, de forma a permitir um aumento da capacidade do encaixe das cheias;



- Em 3 barragens foi necessário implementar medidas estruturais de que resultou a decisão de construção de novos descarregadores de cheias, complementares dos já existentes;
- As 12 barragens situadas nos rios internacionais ainda estão em estudo.
- A análise das condições de segurança hidráulico-operacional das descargas de fundo das 32 barragens consideradas, permitiu concluir que apenas num número reduzido de casos, correspondentes às barragens mais antigas, foram detetadas não conformidades, sendo necessário proceder à reparação ou substituição dos respetivos órgãos de obturação.
- A comparação da legislação de segurança portuguesa com a de alguns países estrangeiros permitiu concluir que, apesar da legislação portuguesa ser bastante completa, ainda há aspetos que poderiam ser melhorados numa próxima revisão. Assim, propõe-se, nomeadamente:
  - Nos descarregadores de cheias equipados com comportas, exigir a verificação do seu funcionamento admitindo a inoperacionalidade de uma das comportas;
  - Nas descargas de fundo, definir o critério de dimensionamento;
  - Definir também um critério para a fixação da folga.



## BIBLIOGRAFIA

- Afonso, J. R., Ramos, J. M., Caldeira, L., Gomes, A. S., Serra, J. B., Quintela, A. C., Pinheiro, A. N. (2001). Barragens. In *Curso de Exploração e Segurança de Barragens*, Instituto da Água, Lisboa.
- Almeida, B. (2000). Riscos a jusante e legislação. In *Legislação Sobre Segurança de Barragens*, LNEC, Lisboa.
- Almeida, J. M. (1998). *Um Projeto para a Segurança das barragens Portuguesas*. Congresso da Água 98, 23 a 27 de Março de 1998, Lisboa.
- Almeida, J. M., Gomes, A. S., Cordeiro, M. S. (2001). Apresentação e análise da regulamentação. In *Curso de Exploração e Segurança de Barragens*, Instituto da Água, Lisboa.
- Brito, J. M. (2014). *Acidentes de Barragens – Reabilitação e Reforço da Segurança de Barragens em Portugal – O caso da Barragem do Pisco*. Engenharia Geotécnica na Reabilitação do Património Construído, 26 de Fevereiro de 2014, FEUP, Porto.
- Cordeiro, M., Ferreira, I., Silva, D., Branco, V., Ribeiro, V. (2000). Legislação sobre segurança de barragens: o ponto de vista do dono de obra (Grupo EDP). In *Legislação Sobre Segurança de Barragens*, LNEC, Lisboa.
- Cruz, L. B. (2010). *O Património Hidroeléctrico do Século XX, em Portugal*. CIAHP - Conferência Internacional Aproveitamentos Hidroelétricos em Portugal, 4 e 5 de Fevereiro de 2010, FEUP, Porto.
- David, L., Oliveira, P. *Aproveitamentos Hidroelétricos e Fins Múltiplos*. <https://woc.uc.pt/deec/getFile.do?tipo=2&id=11117>. Acedido em 2 de Abril de 2014.
- EDP Produção, SA. (2008). *Declaração Ambiental 2008. Aproveitamentos Hidroelétricos da Direcção da Produção Hidráulica: Alto Lindoso, Miranda e Cascata da Serra da Estrela*.
- EDP Produção, SA. (2013a). *Declaração Ambiental 2012 – Aproveitamentos Hidroelétricos da Direcção de Produção Hidráulica: Centro de Produção Cávado-Lima, Douro e Tejo-Mondego*.
- EDP Produção, SA. (2013b). *Relatório Técnico 2012*, Porto.
- Félix, N. M. C. (2010). *Reflexões e Análise Críticas ao Programa Nacional de Barragens de Elevado Potencial Hidroeléctrico*. Dissertação de Mestrado, FEUP.
- Fernandes, I. R., Oliveira, M. S., Oliveira, M., Silva, J. D. (2013). *Hydraulic-Operational Safety Assessment of EDP Dams in Portugal. Current Status*. 8<sup>th</sup> International Conference of EWRA “Water Resource Management in an Interdisciplinary and changing Context”, Porto.
- Ferreira, A. C. (2010). *Análise Hidráulica de Potenciais Soluções para a Descarga Controlada de Caudais Ecológicos em Aproveitamentos Hidroelétricos*. Dissertação de Mestrado, FEUP.
- Figueiredo, N. A. X. (2010). *Dissipação de Energia a Jusante de um Descarregador Não Convencional*. Dissertação de Mestrado, FEUP.
- Franca, M. J., Ferreira, R. M. L., Sousa, J., Gamboa, M. (2010). *Plano de Acção do Plano de Emergência Interno da Barragem de Odelouca*. 10º Congresso da Água, 21 a 24 de Março de 2010, Alvor.
- Franco, M. A., Gomis, G. Z. (2001). *Normativa Sobre Seguridad de Presas*. Revista de Obras Públicas Nº 3.407, Fevereiro de 2001.

- Gomes, S. (1986). *A Observação no Controlo de Segurança das Barragens de Betão Portuguesas*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- Gomes, S. (2000). Legislação portuguesa sobre segurança de barragens. In *Legislação Sobre Segurança de Barragens*, LNEC, Lisboa.
- Gomes, S., Castro, A. T., Pinheiro, A. N., Vranas, R., Neves, J. M., Liebermann, S., Ferreira, M. T., Alves, H., Ferreira, A. S. V. (2001). Controlo de segurança. In *Curso de Exploração e Segurança de Barragens*, Instituto da Água, Lisboa.
- [http://cnpgb.inag.pt/gr\\_barragens/gbportugal/Lista.htm](http://cnpgb.inag.pt/gr_barragens/gbportugal/Lista.htm). Acedido em 20 de Abril de 2014.
- [http://pt.wikipedia.org/wiki/Hidroel%C3%A9ctricas\\_em\\_Portugal](http://pt.wikipedia.org/wiki/Hidroel%C3%A9ctricas_em_Portugal). Acedido em 19 de Maio de 2014
- [http://www.a-nossa-energia.edp.pt/centros\\_produtores/empreendimento\\_type.php?e\\_type=nb](http://www.a-nossa-energia.edp.pt/centros_produtores/empreendimento_type.php?e_type=nb). Acedido em 13 de Maio.
- <http://www.dueceira.pt/trilhos/albufeiras.php?lang=pt>. Acedido em 15 de Junho de 2014.
- <http://www.edpsu.pt/pt/origemdaenergia/Pages/OrigensdaEnergia.aspx>. Acedida em 2 de junho de 2014.
- [http://www.panoramio.com/photo\\_explorer#view=photo&position=215&with\\_photo\\_id=55945433&order=date\\_desc&user=1180922](http://www.panoramio.com/photo_explorer#view=photo&position=215&with_photo_id=55945433&order=date_desc&user=1180922). Acedida em 2 de Maio.
- <http://www.prof2000.pt/users/cristianap/funcionamentoh.htm>. Acedido em 18 de Maio de 2014.
- <http://www.proteccaocivil.pt/RiscosVulnerabilidades/RiscosNaturais/SegurancaBarragens/Pages/RoturadeBarragens.aspx>. Acedido em 10 de Junho.
- <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/disciplinas/foa/2009-2010/1-semester/obras-de-aterro/aulas-teoricas/aulas-10-e-11>. Acedido em 13 de Maio de 2014.
- Lencastre, A. (1984). *Descarregadores de Cheia*. Dissertação de Doutoramento, FEUP.
- Martins, R. (2000a). Legislação sobre segurança de barragens: matérias pertinentes. In *Legislação Sobre Segurança de Barragens*, LNEC, Lisboa.
- Martins, R. (2000b). Legislação sobre segurança de barragens a nível mundial. In *Legislação Sobre Segurança de Barragens*, LNEC, Lisboa.
- Martins, R. (2001). *Segurança de Barragens e Protecção de Vidas Humanas*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- Martins, R. (2002). *A Folga em Barragens*. LNEC, Lisboa.
- Miranda, M. P. (2010). *Tendências Actuais do Controlo de Segurança em Grandes Aproveitamentos Hidroelétricos*. CIAHP - Conferência Internacional Aproveitamentos Hidroelétricos em Portugal, 4 e 5 de Fevereiro de 2010, FEUP, Porto.
- Moreira, R. A. C. (2009). *Potencial hidroeléctrico Português Desaproveitado*. Dissertação de Mestrado, FEUP.
- NCB (1998). *Normas de Construção de Barragens*. Diário da República I série-B Nº 93 – Portaria nº 246/98 de 21 de Abril.
- Neves, E. M. (2011). *A Regulamentação da Segurança das Pequenas Barragens. Situação Actual*. A Engenharia dos Aproveitamentos Hidroagrícolas: actualidade e desafios futuros, 13 a 15 de Outubro de 2011, Laboratório nacional de Engenharia Civil.

- NOIB (1993). *Normas de Observação e Inspeção de Barragens*. Diário da República I série-B Nº 213 – Portaria nº 847/93 de 10 de Setembro.
- NPB (1993). *Normas de Projecto de Barragem*. Diário da República I série-B Nº 213 – Portaria nº 846/93 de 10 de Setembro.
- Nunes, A. C. (2012). *A Energia Hidroelétrica no Actual contexto do Mercado*. Seminário Internacional Portugal – Brasil Diversidades e Estratégias do Sector Eléctrico, 17 de Fevereiro de 2012, Universidade do Minho.
- Oliveira Pedro, J. (2001). *Segurança e Funcionalidade das Barragens*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- Oliveira, M. S., Oliveira, J. M., Fernandes, I. R. (2012). *Revisão do Estudo das Cheias e Análise da Adequação dos Descarregadores das Barragens do Sistema Cávado-Rabagão-Homem*. 11º Congresso da Água, 6 a 8 de Fevereiro de 2012, Porto.
- Oliveira, M. S., Silva, J. D. (2012). *New Spillways of Paradela, Salomonde and Caniçada Dams*. 4<sup>th</sup> IAHR International Symposium on Hydraulic Structures, 9 a 11 de Fevereiro de 2012, Porto.
- Pina, C. (2011). *As Novas Barragens e o Controlo de Segurança*. Encontro Nacional de Engenharia Civil, 21 de Maio de 2011, FEUP, Porto.
- Pinheiro, A. N. (2006). *Estruturas Hidráulicas – Obras de Dissipação de Energia*. [http://www.isa.utl.pt/der/MecFluidos/EngenhariaAgua/Bibliografia/obras\\_dissipacao\\_energia\\_IST\\_2006.pdf](http://www.isa.utl.pt/der/MecFluidos/EngenhariaAgua/Bibliografia/obras_dissipacao_energia_IST_2006.pdf). Acedido em 21 de Maio de 2014.
- Pinheiro, A. N. (2007). *Descarregadores de Cheias em Canal de Encosta, Dimensionamento e Implantação*. Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura, Lisboa.
- Pinto, A. V. (2008). *Gestão de Riscos e Segurança de Barragens*. 3º Simpósio de Segurança de Barragens e Riscos Associados, 18 e 19 de Novembro de 2008, LNEC, Salvador - Brasil.
- Pinto, A. V., Faria, R., (2001). Incidentes, acidentes e rupturas em barragens. In *Curso de Exploração e Segurança de Barragens*, Instituto da Água, Lisboa.
- Pires, P., Sá, L. (2009). - Guia de Orientação para Elaboração de Planos de Emergência Internos de Barragens. In *Cadernos Técnicos PROCIV*, Autoridade Nacional de Protecção Civil e INAG.
- Quintela, A. C. (1990). *Estruturas Hidráulicas*.
- Ramos, C. M. (2000). Segurança hidráulico-operacional e legislação. In *Legislação Sobre Segurança de Barragens*, LNEC, Lisboa.
- Ramos, C. M. (2004). *Descarregadores de Cheias Soluções Não Convencionais Critérios de Projecto*. [http://www.seprem.es/st\\_pe\\_f/JTAliviaderos1/RED1.pdf](http://www.seprem.es/st_pe_f/JTAliviaderos1/RED1.pdf). Acedido em 21 de Maio de 2014.
- Ramos, J. M., Oliveira, S. B. (2001). *Controlo de Segurança Estrutural de Barragens de Betão Aspectos da Experiência Portuguesa*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- Relvas, A. T., Pinheiro, A. N. (1998). *Descarregadores de Cheias não Convencionais Sobre Barragens de Aterro. Apresentação de Soluções e Estudo Comparativo*. 4º Congresso da Água, 23 a 27 de Março de 1998, Lisboa.
- Ribeiro, V. (1998) *Segurança de Barragens – Ondas de Inundação Aplicação da Legislação Portuguesa*. 4º Congresso da Água, 23 a 27 de Março de 1998, Lisboa.

Rodrigues, H. M. H. (2006). *Controlo de Segurança Hidráulico Operacional em Barragens de Aterro*. [http://w3.ualg.pt/~rlanca/trabalhos\\_orientados/2006\\_12\\_helena\\_rodrigues/Parte\\_Teorica\\_Final\\_Revista.pdf](http://w3.ualg.pt/~rlanca/trabalhos_orientados/2006_12_helena_rodrigues/Parte_Teorica_Final_Revista.pdf). Acedido em 18 de Fevereiro de 2014.

RSB (1990). *Regulamento de Segurança de Barragens*. Diário da República 5/90 série I – Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicação. Decreto-Lei nº 11/90 de 6 de Janeiro.

RSB (2007). *Regulamento de Segurança de Barragens*. Diário da República 1ª série Nº 198 – Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicação. Decreto-Lei nº 344/2007 de 15 de Outubro.

RTS (1996). *Reglamento Técnico Sobre Seguridad De Presas y Embalses*. Ministério de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. B.O.E nº78 de 30 de Marzo de 1996.

Sousa, R. J. C. (2011). *Controlo de Qualidade na Execução de Fundação numa Barragem*. Dissertação de Mestrado, FEUP.

Vale, J. L. M. (2010). *O Mercado dos Grandes Aproveitamentos Hidroelétricos em Portugal*. CIAHP - Conferência Internacional Aproveitamentos Hidroelétricos em Portugal, 4 e 5 de Fevereiro de 2010, FEUP, Porto.

West, M. S., Miranda, J. C., Matos, E. (1998). *Avaliação de Segurança de Barragens Uma comparação Entre as Abordagens Britânica e Portuguesa*. 4º Congresso da Água, 23 a 27 de Março de 1998, Lisboa.

# **Anexos**





**A1**

**RUTURA DE BARRAGENS EM EXPLORAÇÃO (OU  
FASE DE 1º ENCHIMENTO) QUE CAUSARAM PERDA  
DE VIDAS HUMANAS NO SÉCULO XX**



Quadro A1 – Rutura de barragens em Exploração (ou fase de 1º enchimento) que causaram perda de vidas humanas

Designação da barragem	País	Data da ruptura	Tipo de barragem	Altura (m)	Características da ruptura: duração	Características da ruptura: extensão	Houve galgamento ?	Factores hidráulico-operacionais envolvidos ?	Comentário quanto às causas de ruptura (factores estruturais)	Outras observações
Austin (Bayless)	EUA	1911	gravidade	15	súbita	quase total	—	—	más fundações	U = 10 km/h
Lower Otay	EUA	1916	enrocamento	40	cerca de 15 min	—	S	S	—	U = 20 km/h; na bibliografia é também mencionada a altura de 47 m
Bitá Desná	Checoslováquia	1916	terra	17	lenta (mais de 1,5 h) *	—	—	S (houve dificuldade em abrir as comportas)	erosão interna	—
Tigra	União Indiana	1917	gravidade (alvenaria)	26	—	—	S	S	erosões a jusante e deslizamento	—
Gleno	Itália	1923	gravidade e contrafortes	44	súbita	—	—	—	erros de projecto e construção	declive do talvegue a jusante da barragem: 5%; na bibliografia é também mencionada a altura de 35 m
Coedy	Reino Unido	1925	terra	11	—	—	S	—	ruptura de barragem a montante (Eigiau)	—
St. Francis	EUA	1928	gravidade	62	súbita	—	—	—	colapso das fundações	U = 20 km/h
Cascade (Briseis)	Austrália	1929	enrocamento	24	provavelmente rápida	parcial	S	S (descarregador subdimensionado)	erosão motivada por um galgamento excepcional	—
Castlewood	EUA	1933	enrocamento	21	—	—	S	S (descarregador subdimensionado)	—	na bibliografia é também mencionada a altura de 28 m
Zerbino	Itália	1935	gravidade	16	súbita	quase total	S	S (descarregador subdimensionado)	más fundações	—
Xuriguera	Espanha	1944	gravidade	42	—	—	—	—	colapso das fundações	—
Vega de Tera	Espanha	1959	contrafortes (betão e alvenaria)	34	súbita	—	—	—	erros de projecto e construção	—
Malpasset	França	1959	arco	61	súbita	quase total	—	—	colapso das fundações	na bibliografia é também mencionada a altura de 66 m
Hyokiri	Coreia do Sul	1961	terra	41	—	—	—	—	—	causa indeterminada no quadro de precipitações intensas
Poona	União Indiana	1961	gravidade (alvenaria)	40	súbita	—	S (durante cerca de 4 h até à ruptura)	S	ruptura de barragem a montante (Panshet)	—
Baldwin Hills	EUA	1963	terra	71	lenta (mais de 4 h) *	parcial	—	—	más fundações (falha)	—
Zgorigrad	Bulgária	1966	terra	12	—	—	S	—	—	—
Nanaksagar	União Indiana	1967	terra	16	não menos de 30 min	—	S	—	colapso das fundações e assentamento	fendas e grande percolação um dia antes
East Lee	EUA	1968	terra	8	—	—	—	—	erosão interna	—
Frías	Argentina	1970	enrocamento	15	pouco mais de 15 min	—	S	S	—	na bibliografia é também mencionada a altura de 18 m
Buffalo Creek	EUA	1972	terra	13	lenta (mais de 1 h) *	—	S	S (sem órgãos de descarga)	—	U = 8 km/h
Canyon Lake	EUA	1972	terra	6	lenta (mais de 2 h) *	—	S	S	—	—
Hubacov	Checoslováquia	1974	terra	6	lenta (mais de 5 h) *	—	S	—	erosão interna	—

Fonte: (Martins 2001)



Quadro A1 – (continuação)

Designação da barragem	País	Data da ruptura	Tipo de barragem	Altura (m)	Características da ruptura: duração	Características da ruptura: extensão	Houve galgamento ?	Factores hidráulico-operacionais envolvidos ?	Comentário quanto às causas de ruptura (factores estruturais)	Outras observações
Bear Wallow	EUA	1976	terra	15	—	—	—	—	—	causa indeterminada no quadro de precipitações intensas
Bolan	Paquistão	1976	terra e enrocamento	19	—	—	S	S (descarregador subdimensionado)	—	na bibliografia é também mencionada a altura de 23 m
Teton	EUA	1976	terra	93	lenta	parcial	—	—	erosão interna	U = 20 km/h; entre uma ressurgência com arrastamento de finos e a brecha atingir o coroamento decorreram cerca de 5 h
La Paz	México	1976	terra	10	—	—	S	—	—	—
Laurel Run	EUA	1977	terra	13	—	—	S	—	—	—
Kelly Barnes	EUA	1977	enrocamento e terra	13	rápida mas precedida horas antes de uma rotura parcial	quase total	—	—	—	causa indeterminada no quadro de precipitações intensas
Machhu II	União Indiana	1979	terra e alvenaria	25	não menos de 30 min	parcial	S (durante cerca de 2 h até à ruptura)	S (houve dificuldade em abrir as comportas)	—	—
Gotvan	Irão	1980	terra	22	—	—	—	—	—	causa indeterminada no quadro de precipitações intensas
Karnataka	União Indiana	1981	terra	2	—	—	—	—	—	causa indeterminada no quadro de precipitações intensas (volume armazenado inferior a 200 000 m <sup>3</sup> )
Lawn Lake	EUA	1982	terra	7	—	—	—	—	erosão interna	—
Tous	Espanha	1982	enrocamento e betão	69	do aterro: cerca de 1 h; da zona em betão: súbita	—	S (durante cerca de 1 h até à ruptura)	S (houve dificuldade em abrir as comportas)	—	a situação de emergência detectou-se cerca de 9 horas antes do início do galgamento
Kantalai	Sri Lanka	1986	terra e alvenaria	27	—	—	—	—	erosão interna	associada a uma conduta que atravessava a barragem
Sargozanskaya	URSS	1987	terra	23	—	—	S	—	—	causa indeterminada no quadro de precipitações intensas
Belci	Roménia	1991	terra	18	—	—	S (durante cerca de 4 h até à ruptura)	S (houve dificuldade em abrir as comportas)	—	—
Gouhou	China	1993	cascalho compactado	70	—	—	—	—	—	a passagem de água através da cortina de betão a montante provocou arrastamento do material do aterro
Artik	Arménia	1994	terra	18	—	parcial	—	—	erros de projecto e construção e erosão interna	—
Tirlyansk	Rússia	1994	terra	13	—	—	S	S (não abertura de comportas)	—	—

Fonte: (Martins 2001)



# A2

## CARACTERÍSTICAS DAS BARRAGENS EM ESTUDO





Quadro A2 - Características das barragens integradas nos grandes aproveitamentos hidroelétricos portugueses

Aproveitamentos Hidroelétricos			Características gerais					Barragem				Descarregador de Cheias			
Central hidroelétrica		Barragem	Linha de água	Tipo de aproveitamento	Capacidade da albufeira (hm3)	Número de grupos	Potência instalada (MW)	Ano de conclusão	Tipo	Altura (m)	Desenvolvimento do coroamento (m)	Localização	Tipo	Caudal máximo descarregado (m3/s)	
Cávado-Lima	Alto Lindoso	Alto Lindoso	Lima	Albufeira	347,9	2	630	1992	A	110	297	M	C	2770	
	Touvedo	Touvedo	Lima	Albufeira	4,5	1	22	1993	G	42,5	133,5	CB	C	3200	
	Alto Rabagão	Alto Cávado	Cávado	Albufeira	2	2	68	1964	G	29	220	CB	NC	433	
		Alto Rabagão	Rabagão	Albufeira	550,1			1964	A e G	94	1970	M	C	500	
	Vila Nova	Paradela	Cávado	Albufeira	158,2	1	144	1956	ER	112	540	CB e M	C e NC	1180	
		Frades	Venda Nova	Rabagão	Albufeira	92,1		3	191	1951	G	97	230	CB	C
	2														
	Salamonde	Salamonde	Cávado	Albufeira	55	2	42	1953	A	75	284	CB	C	2828	
Vilarinho das Furnas	Vilarinho das Furnas	Homem	Albufeira	97,5	2	125	1972	A	94	398,3	M	C	284		
Cançada	Cançada	Cávado	Albufeira	144,4	2	60	1955	A	76	246	CB	C	1736		
Douro	Miranda	I	Miranda	Douro	Fio de água	6,4	3	390	1961	CF	80	263	CB	C	11000
		II													
	Picote	I	Picote	Douro	Fio de água	13,4	3	246	1958	A	100	139	CB	C	11000
		II													
	Bemposta	I	Bemposta	Douro	Fio de água	20	3	191	1964	G	87	297	CB	C	11000
		II													
	Pocinho	Pocinho	Douro	Fio de água	12	3	186	1982	G	49	430	CB	C	15000	
	Valeira	Valeira	Douro	Fio de água	13	3	216	1975	G	48	380	CB	C	18000	
	Vilar	Vilar	Távora	Albufeira	95,5	2	64	1965	ER	55	240	M	C	520	
	Régua	Régua	Douro	Fio de água	12	3	156	1973	G	41	350	CB	C	21500	
	Varosa	Varosa	Varosa	Albufeira	12,9	3	24,7	1976	A	71	213	M	C	1100	
Carrapatelo	Carrapatelo	Douro	Fio de água	15,6	3	201	1972	G	57	400	CB	C	22000		
Torrão	Torrão	Tâmega	Albufeira	40,4	2	146	1988	G	70	218	CB	C	4910		
Crestuma-Lever	Crestuma-Lever	Douro	Fio de água	22,5	3	108	1985	G	25,5	470	CB	C	26000		
Tejo-Mondego	Caldeirão	Caldeirão	Caldeirão	Albufeira	3,5	1	32	1994	A	39	122	CB	NC	228	
	Aguieira	Aguieira	Mondego	Albufeira	216	3	270	1981	AM	89	400	CB	C	2033	
	Raiva	Raiva	Mondego	Albufeira	12	2	20	1981	G	34	200	CB	C	2150	
	Santa Luzia	Santa Luzia	Unhais	Albufeira	50,5	4	32	1943	A	76	178	CB	C	118	
	Cabril	Cabril	Zêzere	Albufeira	615	2	97	1954	A	132	290	M	C	2300	
	Bouçã	Bouçã	Zêzere	Albufeira	7,9	2	50	1955	A	63	175	CB	NC	2300	
	Castelo de Bode	Castelo de Bode	Zêzere	Albufeira	902,5	3	139	1951	G	115	402	CB	C	3500	
	Pracana	Pracana	Ocreza	Albufeira	69,3	3	40	1951	CF	60	245,5	CB	C	2506	
	Fratel	Fratel	Tejo	Fio de água	21	3	130	1974	G	48	240	CB	C	16500	
	Sabugueiro I	Lagoa Comprida	Caníça	Albufeira	13,9	3	12,8	1958	G	28	1200	CB	NC	130	
		Covão do Meio	Loriga	Albufeira	1,53			1953	A	27	375	CB	NC	104	
	Belver	Belver	Tejo	Fio de água	7,5	6		1951	G	36	452	CB	C	18000	
	Alqueva	I	Alqueva	Guadiana	Albufeira	2685,8	2	256	2002	A	96	458	CB e M	C	6300
		II		Guadiana											

Fonte: (cnpqb.inag.pt; Cordeiro et al. 2000; Fernandes, Oliveira e Silva 2013)

A - Abóbada  
G - Gravidade  
AM - Abóbadas Múltiplas  
CF - Contrafortes  
ER - Enrocamento

CB - Corpo da Barragem  
M - Margem

C - Controlado  
NC - Não controlado



# A3

## REVISÃO DAS CHEIAS DE PROJETO E MEDIDAS CORRETIVAS DAS BARRAGENS EM ESTUDO



Quadro A3 - Revisão das cheias de projeto e medidas corretivas das barragens em estudo

Barragens		Risco Potencial (Classe)	Cheia de projeto inicial					Cheia de projeto Revista					Medidas Corretivas	
			Período de retorno (anos)	Caudal de ponta associada à cheia de projeto (m3/s)	NPA- Nível de pleno armazenamento (m)	NMC - Nível máximo de cheia (m)	Máxima capacidade de descarga (m3/s)	Período de retorno (anos)	Caudal de ponta associada à cheia de projeto (m3/s)	NPA- Nível de pleno armazenamento (m)	NMC - Nível máximo de cheia (m)	Máxima capacidade de descarga (m3/s)	Não Estrutural	Estrutural
Cávado-Lima	Alto Lindoso	I	1000	3500	338	339	2770			a)				
	Touvedo	I	1000	3200	50	50	3200			a)				
	Alto Cávado	II	1000	720	892,4	895,5	450	1000	461	892,4	895,9	433	-	-
	Alto Rabagão	I	-	850	870,8	870,9	500	1000	537	870,8	870,9	500	-	-
	Paradela	I	1000	1550	730,8	732,4	693	5000	1348	730,8	733	1180	aumento do NMC	novo descarregador
	Venda Nova	I	-	1500	690,8	691,3	1200	1000	1310	690,8	691,3	1167	-	-
	Salamonde	I	-	2000	270,4	270,9	1700	1000	2867	270,4	270,64	2828	-	novo descarregador
	Vilarinho das Furnas	I	-	900	569,5	570	280	1000	442	569	570,05	284	diminuição do NPA	-
	Cançada	I	-	2400	152,5	153	1736	1000	3966	152,5	152,83	3762	-	novo descarregador
Douro	Miranda	I	1000	11000	528,05	533,05	11000			a)				
	Picote	I	1000	11000	471	478	11000			a)				
	Bemposta	I	1000	11000	402	406	11000			a)				
	Pocinho	I	1000	15000	125,5	134,5	15000			a)				
	Valeira	I	1000	18000	105	105,2	18000			a)				
	Vilar	II	1000	1200	552	553,7	520	1000	863	552	553,73	520	-	-
	Régua	I	1000	21500	73,5	78	21500			a)				
	Varosa	I	1000	1200	264	266	1160	1000	1260	264	265,14	1100	-	-
	Carrapatelo	I	1000	22000	46,5	46,5	22000			a)				
	Torrão	I	500	4150	62	65	4000	1000	5231	62	66,5	4910	aumento do NMC	-
	Crestuma-Lever	I	1000	26000	13,2	21,5	26000			a)				
Tejo-Mondego	Caldeirão	II	1000	350	702	703,7	240	1000	262	702	703,65	228	-	-
	Agueira	I	1000	3500	117	126	2080	1000	5200	117	125,72	2033	-	-
	Raiva	II	1000	2000	60	60	1920	1000	2150	61,5	61,5	2150	aumento do NMC e do NPA	-
	Santa Luzia	I	-	150	657,65	658,12	120	1000	467	656,65	658,05	118	diminuição do NPA	-
	Cabril	I	1000	4000	294	296,3	2200	5000	4300	292	296,65	2300	diminuição do NPA	-
	Bouça	I	1000	2200	174,5	179,8	2200	1000	2300	174,5	179,9	2300	aumento do NMC	-
	Castelo de Bode	I	1000	4750	119,5	122	4200	5000	5523	119,5	121,24	3500	-	-
	Pracana	I	500	3200	114	115	2500	1000	2763	113,5	114	2506	diminuição do NPA	-
	Fratel	I	1000	16500	74	76	16500			a)				
	Lagoa Comprida	I	100	92	1600	1600,28	80	1000	155	1600	1600,4	130	aumento do NMC	-
	Covão do Meio	II	-	50	1653,3	1653,95	49	1000	107	1653,3	1654,15	104	aumento do NMC	-
	Belver	I	-	18000	46,15	47,15	18000			a)				

a) Estudos ainda não concluídos

Fonte: (Fernandes, Oliveira e Silva 2013)